



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ENERGIATEHOKKUUSTOIMINNAN ARVIOINNIN KEHITTÄMINEN JAKELUVERKKOYHTIÖSSÄ

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pertti
Järventausta
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
8. elokuuta 2018

TIIVISTELMÄ

JAAKKO KOSKELA-KOIVISTO: Energiatehokkuustoiminnan arvioinnin kehittäminen jakeluverkkoyhtiössä
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 99 sivua, 2 liitesivua
Elokuu 2018
Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat
Tarkastaja: professori Pertti Järventausta

Avainsanat: jakeluverkkoyhtiö, energiatehokkuus, energiatehokkuussopimus, energiatehokkuusdirektiivi, verkkohäviöt, häviösäästölaskenta

Energiatehokkuussopimukset ovat Suomessa avainasemassa energiatehokkuusdirektiivin 2012 asettaman 20 prosentin energiansäästötavoitteen saavuttamisessa. Suomen toiseksi suurimpana verkkoyhtiönä Elenia Oy on osallistunut energiatehokkuussopimuksiin 2017–2025 edistääkseen asiakkaidensa ja sähkönjakelun energiatehokkuutta. Sopimustoimintaan liittynyt verkkoyhtiö sitoutuu pienentämään vuotuisia sähkönjakelun häviöitään 6 prosentilla nykytasosta vuoteen 2025 mennessä. Elenia Oy:n tapauksessa merkittävä 6 prosentin säästötavoite tarkoittaa vuotuisten sähkönjakelun häviöiden pienentämistä 13,2 GWh vuoteen 2025 mennessä. Verkkoyhtiöiden tekemiä toimenpiteitä energiatehokkuuden edistämiseksi seurataan raportointijärjestelmän kautta, johon verkkoyhtiöt raportoivat vuosittain helmikuun loppuun mennessä toteuttamistaan energiatehokkuustoimista.

Diplomityön tavoitteena oli selvittää verkkoyhtiöiden keinoja ja menetelmiä energiatehokkuussopimuksessa asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Ensimmäiseksi tunnistettiin ja analysoitiin verkkoyhtiön keinot asiakkaiden energiatehokkuuden edistämiseksi. Suomessa verkkoyhtiöt edistävät asiakkaidensa energiatehokkuutta pääasiallisesti viestinnällisin keinoin internetissä. Lisäksi suurin osa verkkoyhtiöistä tarjoaa online-energiaraportointipalveluja, missä asiakkaat voivat seurata sähkönkulutustaan ja tällä tavoin tehdä parempia päätöksiä sähkönkäyttösä osalta. Diplomityössä esitetään kustannustehokas menetelmä (Nudging-teoria) asiakkaiden energiakulutustottumusten muuttamiseksi ja tätä kautta energian säästämiseksi. 'Pehmeiden' energiatehokkuustoimien osalta tehdään kehitysehdotus energiamääräisen energiansäästövaikutuksen suuruuden arvioimiseksi.

Verkostokomponenttien korvaamisella saavutettuja vuotuisia sähköverkon häviösäästöjä varten tarvitaan laskentamenetelmät. Diplomityössä kehitettiin laskentamenetelmät, joilla voidaan laskea muuntaja- ja johtokorvauksille vuotuiset häviösäästöt verkon eri jännitetasoilla. Komponenttikorvausten lisäksi vuotuiset häviösäästöt laskettiin myös yksittäiselle verkon käyttötoimenpiteelle. Työssä tehdyn häviösäästölaskennan kokonaistulokseksi laskettiin yhteensä noin 9,2 GWh vuotuiset häviösäästöt, joka kattaa Elenialle asetetusta sopimustavoitteesta yli kaksikolmasosaa. Kehitettyjä häviösäästölaskennan menetelmiä voidaan soveltaa myös tulevien vuosien häviösäästölaskentaan ja energiatehokkuusraportointiin.

ABSTRACT

JAAKKO KOSKELA-KOIVISTO: Development of the Energy Efficiency Operation Evaluation at DSO

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 99 pages, 2 Appendix pages

August 2018

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

Major: Power systems and Electricity market

Examiner: Professor Pertti Järventausta

Keywords: Electricity distribution, energy efficiency, energy efficiency agreement, energy efficiency directive, network losses

Energy Efficiency Agreements play a key role in Finland to achieve the 20 percent energy saving target prescribed in the Energy Efficiency Directive 2012. As the second largest DSO in Finland, Elenia Oy has participated in the Energy Efficiency Agreement scheme 2017–2025 to promote the energy efficiency of its customers and electricity distribution network. The energy saving target set for each DSO is to reduce electricity distribution losses by 6 percent from the current level by 2025. In the case of Elenia Oy, annual 6 percent energy saving target in network losses means an ambitious annual target of 13,2 GWh electricity distribution loss reduction by 2025. DSOs actions to promote energy efficiency will be reported into monitoring system of the Energy Efficiency Agreement scheme by the end of February each year.

The purpose of this M.Sc thesis was to study DSOs capabilities and methods to carry out the targets set in the Energy Efficiency Agreements. At first, the DSOs' energy efficiency actions targeted to customers are identified and then analyzed. In Finland DSOs generally promote their customers' energy efficiency by customer communication and advising on the internet. In addition, the most of Finnish DSOs also offer online-based electricity consumption reporting services, in which customers can observe their electricity consumption, and in that way make better decisions on their energy consumption. The thesis proposes a cost-efficient instrument, namely Nudge theory, to promote customers' energy consumption habits and thus save energy. Also, in the thesis it is proposed how to quantify and report energy savings related to 'soft' energy efficiency measures such as giving customer guidance on the internet.

Calculation methods need to be developed in order to estimate the yearly energy loss savings in distribution network achieved through network component replacing. In the thesis calculation methods has been developed to estimate the yearly energy loss savings achieved through replacing old distribution transformers and conductors on different voltage levels. In addition to network component replacing, a singular energy loss saving calculation was also made for the most significant upcoming network reconfiguration. As a conclusion of the energy loss saving calculations, total yearly energy loss savings of 9,2 GWh were calculated. The total result of energy loss saving calculations covers over two thirds of the target set in the Energy Efficiency Agreements. The calculation methods developed and described in the thesis are also applicable for the coming years in the agreement scheme.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin Elenia Oy:n Tuotteet ja palvelut –tiimissä vuoden 2018 tammi-kuun ja elokuun välisenä aikana. Työn ohjaajina toimivat tiimin päällikkö Tomi Mäkelä ja laskenta-asiantuntija Mikko Järvinen, joita haluan lämpimästi kiittää mielenkiintoisesta työn aiheesta sekä vilpittömästä tuesta diplomityöprojektin aikana. Työn ohjaajien lisäksi haluan osoittaa erityiskiitokseni myös Verkon kehitys –tiimin suuntaan Sami Vehmasvaaralle, Jarkko Peltolalle ja Esa Pohjosenperälle, joiden asiantuntijuuden ansiosta työssä kehitettyjen häviösäästölaskentamenetelmien kehittäminen oli ylipäättään mahdollista. Työn tarkastajan roolissa toimi Tampereen teknillisen yliopiston professori Pertti Järventausta, jota haluan kiittää arvokkaista kommentteista ja terävistä havainnoista työn kirjoittamisen aikana.

Viimeisimpänä, muttei vähäisimpänä haluan osoittaa suurimmat kiitokseni perheelleni tuesta koko seitsemäntoistavuotisen opintotaipaleen aikana. Erityiskiitokset osoitan isälteni, joka omien työpäiviensä jälkeen jakoi tinkimättömästi kannustaa ja sparrata minua pitkän matematiikan ja fysiikan opiskeluun lukioaikoina. Perheen tuen lisäksi haluan kiittää myös parhaita opiskelukavereitani Eetua ja Joonasta huikeasta tiimityöskentelystä opiskeluaikana TTY:llä – Joopen sähkövoima on elävä legenda. Lopuksi haluan osoittaa kiitokset rakkaalle tyttöystävälleni Lauralle korvaamattomasta tuesta ja rakkaudesta diplomityöprojektin aikana.

Pirkkalassa, 13.8.2018

Jaakko Koskela-Koivisto

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	1
1.1	Elenia Oy.....	1
1.2	Työn tavoitteet ja haasteet.....	2
2.	ENERGIATEHOKKUUSSOPIMUS	4
2.1	Taustat	4
2.1.1	Energiatehokkuusdirektiivi	4
2.1.2	Puhtaan energian talvipaketti	5
2.2	Energiatehokkuussopimusjärjestelmä	6
2.2.1	Energiatehokkuussopimukset.....	6
2.2.2	Energiasäästötavoitteen määrittäminen	8
2.2.3	Sopimukselliset toimenpiteet ja velvoitteet.....	9
2.2.4	Energiatehokkuuden tehostamissuunnitelma	10
2.3	Energiasäästötoimenpiteiden määrittely	11
2.3.1	Energiasäästötoimenpiteiden peruslinjaukset	11
2.3.2	Korvausinvestoinnit	13
2.3.3	Uusinvestoinnit	13
3.	ASIAKKAIDEN ENERGIANKÄYTÖN TEHOSTAMINEN.....	14
3.1	Sähkön pienkuluttajien energiankäytön trendi.....	15
3.2	Asiakkaan energiatehokkuutta edistävät toimenpiteet	17
3.2.1	Energiatehokkuusneuvonta	19
3.2.2	Energiatehokkuusviestintä	19
3.2.3	Kulutus palaute ja laskutus.....	20
3.2.4	Muut energiapalvelut	21
3.3	Asiakkaille suunnattujen energiatehokkuustoimien seuranta	22
3.4	Asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisen kehitysehdotuksia	24
3.4.1	Nudging-teorian hyödynnettävyys energiatehokkuuden markkinoimisessa asiakkaalle.....	25
3.4.2	Tuntimittausdatan hyödyntäminen energiatehokkuuden edistämisessä.....	27
3.5	Asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisen potentiaaliset palvelut	29
3.5.1	Energiatehokkuuspalveluiden markkinat Euroopassa	29
3.5.2	Energiatehokkuuspalveluiden potentiaaliset tuotteet ja palvelut... 31	
3.5.3	Energiatehokkuuspalveluiden tuottamisen keskeiset haasteet verkkoyhtiössä	34
3.6	Kehitysehdotus asiakkaille suunnattujen energiatehokkuustoimien vaikutusten arvioinnista ja raportoinnista.....	35
4.	ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN JAKELUVERKOSSA.....	38
4.1	Energiatehokkuuden kehittämistoimenpiteistä Elenia Oy:ssä	39
4.2	Jakeluverkon energiatehokkuustoimet	41
4.3	Jakeluverkon komponenttitason häviölähteet	43

4.3.1	Johdot.....	45
4.3.2	Muuntajat.....	46
4.3.3	Muut häviölähteet	48
4.4	Komponenttitason energiatehokkuuden kehittäminen	49
4.4.1	Johtimen poikkipinnan mitoittaminen	49
4.4.2	Muuntajan häviöiden optimoiminen	52
4.4.3	Jännitetaso nostaminen.....	55
4.5	Järjestelmätason ohjaustoimenpiteet energiatehokkuuden edistämässä	56
4.5.1	Verkon hajautettujen resurssien kontrollointi	56
4.5.2	Sähköverkon hallinta	59
4.6	Verkkoyhtiöiden energiatehokkuustoiminnan edistämisen kehitystarpeet ..	60
5.	SÄHKÖVERKON HÄVIÖSÄÄSTÖJEN LASKEMINEN	62
5.1	Muuntajien häviösäästöjen laskeminen	62
5.1.1	Päämuuntajat	63
5.1.2	Jakelumuuntajat	66
5.2	Johtosaneerauksen häviösäästöjen laskeminen	70
5.2.1	Keskijännitejohdot	70
5.2.2	Pienjännitejohdot	74
5.2.3	110 kV:n siirtojohdot	77
5.3	Hämeenlinnan 110 kV:n rengas.....	80
5.4	Laskentatulosten arviointi	81
5.4.1	Päämuuntajat	82
5.4.2	Jakelumuuntajat	83
5.4.3	Keski- ja pienjännitejohdot	84
5.4.4	110 kV:n siirtojohdot.....	86
5.5	Laskentatulosten yhteenveto	88
6.	YHTEENVETO	91
	LÄHTEET	93
	LIITE A: HÄMEENLINNAN RENGASYHTEYDEN RAKENTAMINEN	

KUVALUETTELO

<i>Kuva 3.1 Siirtovolyymien jakautuminen asiakassegmenttien kesken (Elenia Oy, 2018a).....</i>	<i>14</i>
<i>Kuva 3.2 Lämmöneristysten, lämpöpumppujen ja valaistuksen energiatehokkuuden kehittyminen (Tuunanen et al., 2013).....</i>	<i>15</i>
<i>Kuva 3.3 Energiatehokkuusviestinnän tulokortti. (Elenia Oy, 2018b).....</i>	<i>24</i>
<i>Kuva 3.4 Energiatehokkuustuotteiden ja -palveluiden kumulatiivinen tekninen energiansäästöpotentiali vs. keskimääräinen takaisinmaksuaika EU-alueella. (Labanca et al., 2015).....</i>	<i>32</i>
<i>Kuva 4.1 EU-28 jäsenmaiden sähkön siirron ja -jakelun häviöt vuonna 2014. Perustuu lähteeseen (OECD/IEA, 2014).....</i>	<i>38</i>
<i>Kuva 4.2 Suomen sähkönjakelu- ja siirtoverkon energiahäviöiden kehittyminen vuosina 1970–2016. Perustuu lähteeseen (Energiateollisuus, 2017c).....</i>	<i>39</i>
<i>Kuva 4.3 Elenian omakäyttöhäviöiden pienentäminen 2008–2015 (Elenia Oy, 2018b).....</i>	<i>40</i>
<i>Kuva 4.4 Jakeluverkon pääasiallisten energiatehokkuustoimien kategorisointi. Muotoillen lähteestä (Tractebel Engineering & Ecofys, 2015).....</i>	<i>42</i>
<i>Kuva 4.5 Verkkotietojärjestelmällä lasketut sähköverkon häviöt.....</i>	<i>44</i>
<i>Kuva 4.6 Johdon 1-vaiheinen sijaiskytkentä. (Elovaara & Haarla, 2011).....</i>	<i>45</i>
<i>Kuva 4.7 Energiatehokkuuden huomioiminen osana muuntajan pitoajan aikaisten kustannusten määrittämistä. (ABB Oy, 2015b).....</i>	<i>53</i>
<i>Kuva 4.8 DG-penetraatioasteen vaikutus sähköverkon energiatehokkuuden kehittymiseen. (Heckmann et al., 2013).....</i>	<i>57</i>
<i>Kuva 4.9 Energi Elnät AB verkkoyhtiön keskimääräiset päivittäiset kuormituskäyrät (Koliou et al., 2013).....</i>	<i>58</i>
<i>Kuva 5.1 Kangasalan Herttualan sähköaseman PT2 tehokuvaaja ajanjaksolta 01.03.2017–28.02.2018.....</i>	<i>64</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AMDT	<i>Amorphous Metal Distribution Transformer</i> , sydänrainaltaan amorfisesta metallista valmistettu jakelumuuntaja
EED	<i>Energy Efficiency Directive</i> , energiatehokkuusdirektiivi
EEOS	<i>Energy Efficiency Obligation Scheme</i> , energiatehokkuusvelvoitejärjestelmä
EES	<i>Energy Efficiency Service</i> , energiatehokkuuspalvelu
ES	<i>Energy Storages</i> , energiavarastot
DG	<i>Distributed Generation</i> , hajautettu sähköntuotanto
DR	<i>Demand Response</i> , kysyntäjousto
DSO	<i>Distribution System Operator</i> , jakeluverkkoyhtiö
LVDC	<i>Low Voltage Direct Current</i> , pienjännitetasasähköjakelu
PRIMES	<i>Price-Induced Market Equilibrium System</i> , energiamarkkinoiden kysynnän ja tarjonnan tasapainotilaa simuloiva malli
TCO	<i>Total Costs of Ownership</i> , omistamisen kokonaiskustannus
VTJ	<i>Verkkotietojärjestelmä</i>
VVL	<i>Virtuaalivoimalaitos</i>

1. JOHDANTO

Energiatehokkuussopimukset ovat Suomessa vapaaehtoinen kansallinen keino EU:n asettaman energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanemiseksi. Vastuullisena sähköverkkoalan toimijana Elenia on allekirjoittanut energiatehokkuussopimuksen sopimuskaudelle 2017–2025, jossa se sitoutuu alentamaan sähköverkon häviöitään 6 prosentilla vuoden 2015 tasosta. Sopimustoiminta perustuu vuosiraportointiin, jossa verkkoyhtiö raportoi vuosittain sähköverkkoon ja sähkönkäyttäjille kohdistetuista energiatehokkuustoimista. Sähköverkon häviöiden osalta raportoidaan energiamääräisiä (MWh) vuotuisia häviösäästöjä ja verkkoyhtiön asiakkaiden osalta raportointi tehdään yleisemmällä tasolla. Tässä diplomityössä selvitetään verkkoyhtiön näkökulmasta potentiaaliset sähköverkkoon kohdistuvat energiatehokkuustoimet, joista olisi mahdollisuus raportoida energiamääräisiä häviösäästöjä sopimustavoitteen täyttämiseksi. Työn soveltavassa osuudessa tunnistetuille potentiaalisille energiatehokkuustoimille kehitetään häviösäästölaskennan työkalut vuosiraportoinnin tarpeisiin.

Sähköverkkoon kohdistuvien energiatehokkuustoimien lisäksi energiatehokkuussopimustoiminnalla pyritään edistämään myös verkkoyhtiön asiakkaiden eli sähkönkäyttäjien energiatehokkuutta. Tulevaisuudessa sähkönkäyttäjien rooli osana verkkoyhtiöiden energiatehokkuustoimintaa tulee korostumaan älykkään sähköverkon ja kysyntäjoustomekanismien kehityksen myötä. Energiatehokkuussopimustoiminnan, ja erityisesti vuosiraportoinnin näkökulmasta aihe on erittäin vaativa ja ajankohtainen. Tämän vuoksi yhtenä diplomityön osa-alueena selvitetään sähkönkäyttäjien energiatehokkuustoiminnan kehitystarpeita ja verkkoyhtiön roolia tässä työssä.

1.1 Elenia Oy

Työn toimeksiantaja Elenia Oy on vuonna 2012 perustettu kotimainen sähkönjakeluverkkoyhtiö, joka vastaa sähköntoimituksesta yli 425 000 kotitalous-, yritys- ja yhteiskunta-asiakkaalle noin sadan kunnan alueella eri puolella Suomea. Maantieteellisesti yhtiön verkkoalue käsittää Pirkanmaan, Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaan, Kanta- ja Päijät-Hämeen sekä Keski-Suomen maakunnat. Sähköverkkoa Elenia Oy omistaa yli 70 000 kilometriä ja on täten toiseksi suurin Suomen 80 verkkoyhtiöstä. Vuoden 2016 strategisen linjauksen mukaan Elenia Oy:n ydinliiketoiminnan muodostaa sähköverkkoliiketoiminta, tytäryhtiö Elenia Palvelut Oy:n vastatessa yhtiön palveluliiketoiminnasta. Sähköverkkoliiketoiminnan ohella samaan konserniin kuuluu myös kaukolämmön ja maakaasun myynnistä sekä toimituksesta vastaava Elenia Lämpö Oy. (Elenia Oy, 2018a)

Sähkönsiirtoalan suunnannäyttäjänä Elenialla on vastuullinen rooli kehittää sähköverko-koan tulevaisuuden tarpeita vastaavaksi. Yhtiön strategian keskiössä ovat erityisesti sähköjakelun toimitusvarmuuden parantaminen uuden sähkömarkkinalain 588 (2013) vaatimusten mukaiseksi sekä älykkään sähköverkon kehittäminen tulevaisuuden energiamarkkinoiden tarpeita vastaavaksi. Merkittäviä sähköjakelun energian käytön tehostamistoimenpiteitä ovat muun muassa kysyntäjousto-ominaisuuksien ja energiansäästötoimenpiteiden kehittäminen. Osana energian käytön tehokkuuden parantamista Elenia on ollut mukana kansallisessa energiatehokkuussopimusjärjestelmässä alusta asti ja ilmoit-
tautui myös uudelle sopimuskaudelle 2017–2025. (Elenia Oy, 2017b)

Tällä hetkellä Eleniassa työskentelee 310 henkilöä ja lisäksi yhtiö työllistää suoraan noin 1000 yhteistyökumppanien henkilöä pääasiassa sähköverkon rakentamisen ja kunnossapitotöiden kautta. Asiakkaiden ja yhteistyökumppaneiden ohella merkittäviä sidosryhmiä ovat viranomaiset, maanomistajat ja sijoittajat. Vuoden 2018 maaliskuusta alkaen Elenian uudet omistajat ovat Allianz Capital Partners (45 %), Macquarie Super Core Infrastructure Fund (45 %) sekä suomalainen Valtion Eläkerahasto (10 %). (Elenia Oy, 2018a)

1.2 Työn tavoitteet ja haasteet

Diplomityöllä on kaksi perimmäistä tavoitetta. Ensimmäisenä tavoitteena on selvittää energiatehokkuussopimuksen velvoitteiden toteutumista kohdeyrityksessä. Toisena tavoitteena on tarkastella verkkoyhtiön roolia, vastuuta ja mahdollisuuksia energiatehokkuussopimustoimintaan liittyneenä yrityksenä. Työssä tehdyn analyysin ja pohdinnan perusteella pyritään tunnistamaan relevantit kehitystarpeet Elenian energiatehokkuustoi-
minnan edistämiseksi ja voimassa olevan sopimustavoitteen täyttämiseksi.

Energiatehokkuussopimuksella pyritään edistämään sekä verkkoyhtiön asiakkaiden että sähköverkon energiatehokkuutta, joten energiatehokkuuden edistämistä tarkastellaan molemmista näkökulmista. Älykkään sähköverkon ja kysyntäjoustomekanismien kehityksen myötä sähkönkäyttäjien energiankäyttö on murrosvaiheessa, mikä haastaa verkkoyhtiöitä panostamaan aiempaa enemmän myös asiakkaidensa energiatehokkuuteen. Lisäksi energiatehokkuuspalveluiden markkinat muualla Euroopassa ovat osoittaneet, että tehokkaat markkinat edellyttävät usein myös verkkoyhtiöiden vuorovaikutusta. (Boza-Kiss et al., 2017) Näitä asioita pyritään analysoimaan diplomityössä ja muodostamaan verkkoyhtiön näkemys vaikutusmahdollisuuksista sekä mahdollisista esteistä asiakkaiden energiatehokkuuden edistämiseksi.

Elenian näkökulmasta työn keskiössä on sähköverkon energiatehokkuuden edistäminen sekä häviösäästölaskennan menetelmien kehittäminen sopimustoiminnan vuosisraportoinnin tarpeita varten. Elenia säävarma -maakaapelointiprojektien ja älykkään sähköverkon kehityksen myötä jakeluverkko on mittavien investointien kohteena ja vuosittain lukuisia verkostokomponentteja uusitaan tulevaisuuden tarpeita varten. Tavoitteena on tunnistaa

ja analysoida sähköverkon energiatehokkuuden edistämisen kannalta olennaiset verkostokomponentit ja kehittää niille pätevät häviösäästölaskennan menetelmät. Verkostokomponenttien häviösäästöjen tarkastelun ohella tavoitteena on selvittää, onko sähköverkon ohjaustoimenpiteistä mahdollisuuksia raportoida energiamääräisiä häviösäästöjä. Sähköverkon energiatehokkuustarkastelun taustalla käytetään muun muassa tutkimuksissa (Tractebel Engineering & Ecofys, 2015) ja (Honkapuro et al., 2015) tehtyjä havaintoja. Aiemman tutkimustiedon perusteella pyritään tunnistamaan Elenian sähköverkon potentiaaliset verkostokomponentit, joille pyritään soveltavassa osuudessa kehittämään energiatehokkuusraportointiin soveltuvat häviösäästölaskennan menetelmät.

Diplomityön soveltavan osuuden ensisijaisena tavoitteena on kehittää häviösäästöjen laskentamenetelmät merkityksellisille verkostokomponenttikorvauksille. Verkostokomponenttien häviösäästölaskenta pyritään tekemään ainakin sähköverkon primäärikomponenteille eli eri jännitetasojen johdin- ja muuntajakorvauksille. Nykyinen sopimuskausi on ollut voimassa vuoden 2017 alusta, joten lähtökohtaisesti häviösäästölaskenta tehdään jo vuoden 2017 aikana korvatuille verkostokomponenteille. Tällöin varsinaisen laskentamenetelmän mallintamisen ohella häviösäästölaskennan tuloksena saadaan energiatehokkuusraportointiin kelpaavaa tietoa vuonna 2017 toteutetuista energiatehokkuustoimista. Yksittäisiä suuria verkostokomponentteja, kuten sähköasemien päämuuntajia uusitaan harvoin. Tällaisten komponenttien osalta häviösäästölaskenta tehdään mahdollisuuksien mukaan siten, että diplomityössä esitetty häviösäästön laskentamenetelmä olisi sovellettavissa kyseisen komponentin osalta myöhemmin tapahtuvissa korvauksissa.

Energiatehokkuussopimuksen raportoinnin tarpeisiin soveltuvaa sähköverkon häviösäästölaskentaa on tutkittu tähän mennessä hyvin vähän, mikä vaikeuttaa laskentatulosten arviointia. Verkkoyhtiöiden häviösäästölaskennan ja energiatehokkuusraportoinnin tarpeita varten on tehty tähän mennessä ainoastaan yksi tutkimustyö (Seppälä & Trygg, 2011), jota sovelletaan tässä diplomityössä sähköverkon johtojen johtosaneerausten häviösäästöjen laskennassa. Opinnäytetöissä verkkoyhtiöiden energiatehokkuustoimintaa on sivuttu ainakin diplomityössä (Finning, 2010) ja insinööritöissä (Kohonen, 2017). Energiatehokkuusraportoinnin näkökulmasta opinnäytetöissä ei kuitenkaan ole kehitetty esimerkiksi johdin- ja muuntajakorvauksiin soveltuvia häviösäästölaskennan menetelmiä. Aiemman aihepiirin tutkimustiedon puutteellisuuden vuoksi tämän diplomityön tulosten arviointia ei tehdä kvantitatiivisesti, vaan laskentatuloksia arvioidaan kvalitatiivisesti.

2. ENERGIATEHOKKUUSSOPIMUS

Energiatehokkuussopimustoiminta on Suomessa vapaaehtoinen kansallinen keino EU:n energiatehokkuusdirektiivin (EED) toimeenpanemiseksi. Voimassa oleva EED (Direktiivi 2012/27/EU) velvoittaa EU:n jäsenmaita 20 prosentin energiatehokkuustavoitteeseen vuoteen 2020 mennessä, joten energiatehokkuussopimukset ovat Suomessa avainasemassa kansallisten energiatehokkuustavoitteiden saavuttamiseksi. EED tulee oletusarvoisesti uudistumaan lähitulevaisuudessa myös niin kutsutun ”puhtaan energian talvipaketin” myötä, jossa energiatehokkuustavoitteet asetetaan vuoteen 2030 asti.

Verkkoyhtiönä Elenia on sitoutunut noudattamaan elinkeinoelämän energiatehokkuussopimusta. Energiatehokkuussopimukseen liittynyt verkkoyhtiö on sitoutunut tekemään liiketoiminnassaan energiansäästötoimia ja raportoimaan niistä vuosittain Motiva Oy:n ylläpitämään sähköiseen raportointijärjestelmään. Tässä luvussa selvitetään energiatehokkuussopimuksen keskeiset taustatekijät, velvoitteet sekä määritellään energiansäästötoimenpiteen peruslinjaukset.

2.1 Taustat

Energiatehokkuussopimustoiminnan taustat ovat peräisin Euroopan parlamentin ja neuvoston asettamasta energiatehokkuusdirektiivistä (EED), joka velvoittaa EU:n jäsenmaita energiatehokkuuden edistämiseen poliittisin ohjauskeinoin. Valmisteilla olevan puhtaan energian talvipaketin mukaiset energiatehokkuusvaatimukset tulevat niin ikään heijastumaan energiatehokkuussopimustoimintaan lähitulevaisuudessa, kun energiatehokkuuden edistämiseksi asetetaan aiempaa suuremmat energiatehokkuuden edistämisen säästöavoitteet.

2.1.1 Energiatehokkuusdirektiivi

Taluskriisi ja voimakas riippuvuus tuontien energiasta asettavat Euroopan unionin haasteelliseen tilanteeseen. Energiatehokkuuden parantaminen on ilmeinen keino vastata tähän haasteeseen, sillä sen avulla saadaan parannettua sekä globaalia kilpailukykyä että vähennettyä suhteellisesti kulutetun energian määrää. Primäärienergian tarvetta vähentämällä ja uusien innovatiivisten teknologiaratkaisuiden myötä energiatehokkuuden parantaminen vähentää merkittävästi myös kasvihuonepäästöjä ja ehkäisee siten ilmastonmuutosta. Vuoden 2015 Eurooppa-komission tiedonannon mukaan Eurooppa tuo ulkomailta jopa 53 prosenttia kuluttamastaan energiasta ollen näin maailman suurin energian tuoja. (Euroopan komissio, 2015)

Energiatehokkuusdirektiivin (EED) taustalla on Eurooppa-komission päätös vuodelta 2007 vähentää unionin primäärienergian kulutusta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä.

Asetetun 20 prosentin säästötavoitteen referenssitasona käytetään primäärienergiankulutuksen perusuraa eli ennustettua primäärienergian kulutusta EU:ssa vuonna 2020. Kesäkuussa 2010 tavanneen Eurooppa-komission päätöksessä korostettiin 20 prosentin primäärienergian säästötavoitetta sekä vahvistettiin se yhdeksi EU:n yleistavoitteeksi. Jälleen vuonna 2011 Eurooppa-komission päätöksessä vahvistettiin 20 prosentin säästötavoite, vaikka se ei sen hetkisen edistymisen perusteella näyttänyt toteutuvan. Vuoden 2012 joulukuussa toimeenpantiin EU-direktiivi energiatehokkuudesta, jonka keskeinen tavoite on 20 prosentin säästö primäärienergian kulutuksessa vuoteen 2020 mennessä. Vuoden ensimmäisenä päivänä 2015 Suomessa astui voimaan uusi energiatehokkuuslaki, joka on yhdenmukainen säädetyin EED:n kanssa. (Energiatehokkuuslaki 1429, 2014)

EED:n toimeenpanon jälkeen Eurooppa-komissio on tiedottanut parlamenttia säännöllisesti energiatehokkuuden edistymisestä. Euroopan parlamentin päätöslauselmassa 23. kesäkuuta 2016 todetaan, että jäsenvaltiolta odotetaan ainoastaan 17,6 prosentin primäärienergian säästöjä vuoteen 2020 mennessä. Parlamentti perustelee 20 prosentin säästötavoitteen alittamisen hyväksymistä sillä, että direktiivi on tullut voimaan suhteellisen hiljattain ja määräaika direktiivin saattamiseksi osaksi lakia umpeutui vasta vuoden 2014 kesäkuussa. (Euroopan parlamentti, 2016)

2.1.2 Puhtaan energian talvipaketti

Voimassa olevan energiatehokkuusdirektiivin 2012/12/EU (EED) säästötavoitteet 20 prosentin primäärienergian säästöstä vuoteen 2020 mennessä (Direktiivi 2012/27/EU) tulevat tiukentumaan tulevaisuudessa. Euroopan tavoitteet energiatehokkuudesta ulottuvat voimassa olevan direktiivin nojalla vuoteen 2020 asti, mutta valmisteilla on EED:n uudistus. Euroopan komission mukaan direktiivin uudistus on luonnollinen jatkumo Euroopan ilmasto- ja energiapolitiikassa kohti puhtaampaa energiaa.

Vuoden 2016 marraskuussa komissio julkaisi ehdotuksen nykyisen EED:n 2012/27/EU tarkastamisesta osana nk. ”Puhdasta energiaa kaikille eurooppalaisille” –ehdotuspakettia. (European Commission, 2016) Tarkastuspyynnön keskeisenä tavoitteena on saattaa nykyisin voimassa oleva EED vastaamaan vuoden 2030 tavoitteita ja jatkaa näin energiatehokkuuden tehostamista Euroopassa. Euroopan 2030 energiatehokkuuden strategian (Euroopan komissio, 2018) mukaan minimitaloenergiatavoite energiatehokkuuden säästötoimenpiteille tulisi olla vähintään 27 prosenttia pienempi kuin mihin se nykyiseen energiatehokkuuden tasoon perustuvien laskelmien mukaan olisi kehittymässä.

Tammikuussa 2018 pidetyssä täysistunnossa EU-parlamentti asetti vuoden 2030 sitovaksi tavoitteeksi energiatehokkuuden lisäämisen 35 prosentilla äänin 485 puolesta, 132 vastaan ja 58 tyhjää. Neuvottelut lainsäädännöllisistä asioista voidaan aloittaa heti, sillä EU-neuvosto on muodostanut kantansa energiatehokkuuden osalta 26.6.2017 (European Council, 2017a) ja uusiutuvan energian sekä energiaunionin osalta 28.12.2017. (European Council, 2017b) Kunkin jäsenmaan tulee asettaa vuoden 2030 energiatehokkuuden

35 prosentin tavoitteensa PRIMES-energiajärjestelmämallin mukaisesti simuloimalla tavoitevuoden energiankulutusennustetta.

Monet EU:n jäsenvaltiot ja energia-alan asiantuntijat ovat kritisoineet 35 prosentin primäärienergian säästötavoitetta huomattavan korkeana. Suomen Energiateollisuus ei näe energiatehokkuustavoitteen korottamista 35 prosenttiin perusteltuna, sillä liian tiukat tavoitteet saattavat heikentää EU:n päästökaupan toimintaa. Lisäksi Energiateollisuus huomauttaa näkemyksessään (Energiateollisuus, 2017a), että energiatehokkuuden mittaamisen, raportoinnin ja laskennan liiallisen kontrolloinnin riskinä ovat hallinto- ja valvontakustannusten kasvaminen sekä viivästyminen EDD:n implementoinnissa suunnitellussa aikataulussa.

Energiansäästötoimenpiteiden raportoinnin osalta toiminta pysynee samankaltaisena myös direktiivin uudistumisen jälkeen, sillä voimassa olevaa EED:ä on pidetty kuitenkin yleisesti onnistuneena erityisesti sen salliman kansallisten erityishaasteiden huomioimisen vuoksi. (Energiateollisuus, 2017a) Tähän asti noin puolet EED:n Suomea sitovasta artiklan 7 mukaisesta energiansäästötavoitteesta on raportoitu vapaaehtoisten energiatehokkuussopimusten kautta. Energiatehokkuussopimuksia käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa 2.2.

2.2 Energiatehokkuussopimusjärjestelmä

Elenia on sitoutunut tekemään liiketoiminnassaan energiansäästötoimenpiteitä ja vuosiraportoimaan niistä energiatehokkuussopimuksen edellyttämällä tavalla. Sopimuksessa on määritetty nykyisiin sähköverkon häviöihin perustuva sopimuskauden kattava prosentuaalinen energiansäästötavoite, jonka Elenia voi toimeenpanna parhaaksi katsomallaan tavalla energiansäästötoimenpiteiden peruslinjausten asettamissa rajoissa. Kaikista toteutetuista ja energiatehokkuussopimusjärjestelmään raportoiduista energiansäästötoimenpiteistä tulee laatia dokumentaatio, joka tulee kysyttäessä olla saatavissa ja todennettavissa. Raportoinnin ja dokumentaation alustana on suositeltavaa käyttää luvussa 2.2.4 esitettyä energiatehokkuuden tehostamissuunnitelmaa, jolle voidaan sekä suunnitella että dokumentoida toteutettavia energiansäästötoimenpiteitä.

2.2.1 Energiatehokkuussopimukset

Ilmastonmuutoksen hillitsemisen osalta energiatehokkuus on keskeisessä asemassa, sillä kansainvälinen energiajärjestö IEA on arvioinut energiatehokkuuden parantamisen mahdollistavan jopa 50 prosenttia globaalien kasvihuonepäästöjen vähentämistavoitteesta. (IEA, 2009) EU on sitoutunut leikkaamaan omia kasvihuonepäästöjään 40 prosentilla vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasoon verrattuna. Luvussa 2.1.1 esitetty energiatehokkuusdirektiivi 2012/12/EU on avainasemassa kasvihuonepäästöjen leikkaamisessa

Euroopan ilmasto- ja energiastrategiassa. Suomen kansallisen energiatehokkuuden toimintasuunnitelman mukaan energiatehokkuussopimustoiminnan kautta toimeenpannaan lähes 2/3 osaa EED:n velvoittamasta energiansäästötavoitteesta. (Motiva Oy, 2016b)

Energiatehokkuussopimistoiminta on valtion ja toimialojen yhdessä valitsema keino täyttää kansainväliset energiatehokkuusvelvoitteet. Sopimustoiminta on vapaaehtoista, eikä siitä ole toistaiseksi säädetty lailla. Käytännössä toimiva sopimusjärjestelmä kuitenkin edellyttää, että riittävä määrä yrityksiä sekä kuntia sitoutuu vapaaehtoiseen sopimustoimintaan ja toteuttavat aktiivisesti energiansäästötoimia. Sähköverkkoyhtiönä Elenia toteuttaa sopimustoimintaa elinkeinoelämän energiatehokkuussopimuksen alla energiapalvelujen toimenpideohjelmassa. Vuoden 2018 alussa energiatehokkuussopimuskaudelle 2017–2025 oli ilmoittautunut yhteensä 445 yritystä ja 64 kuntaa/kuntayhtymää eri puolilta Suomea, joista 71 yritystä toimii energiapalvelujen toimenpideohjelmassa. Elenian ohella noin 90 prosenttia Suomen muista sähköverkkoyhtiöistä on allekirjoittanut energiatehokkuussopimuksen uudelle sopimuskaudelle 2017–2025. (Energiateollisuus, 2017b)

Aiemmalla energiatehokkuussopimuskaudella 2008–2016 raportoidut energiansäästötoimenpiteet olivat kaikkien toimenpideohjelmien kesken yhteensä lähes 16 TWh. Määrä vastaa Suomen 2 miljoonan kerrostaloasukkaan vuosittaista lämpöenergian kulutusta. Energiapalvelujen toimenpideohjelman yritykset raportoivat sopimuskaudella yhteensä 1622 energiansäästötoimenpidettä, joiden yhteenlaskettu säästö oli 483 GWh. Sähkön-siirron- ja jakelun energiatehokkuuden yhteinen sopimustavoite 150 GWh ylitettiin 85 prosentilla, joten raportoidut energiansäästöt olivat 278 GWh. (Motiva Oy, 2016b)

Kuten Motiva Oy:n energiatehokkuussopimuskauden 2008–2016 yhteenvetoraportissa (Motiva Oy, 2016b) todetaan, energiansäästötoimenpiteissä korostuvat etenkin pitkävaikutteiset useampia vuosia voimassa olevat toimenpiteet. Mitä aikaisemmin energiansäästötoimenpiteet toteutetaan ja mitä kauemmin ne ovat voimassa, niin sitä arvokkaampia ne ovat. Tämän vuoksi eri toimialoilla oli tavoitteena toteuttaa noin kaksi kolmasosaa EDD artiklan 7 mukaisesta vuoden 2020 energiasäästötavoitteesta jo energiatehokkuussopimuskaudella 2008–2016. Tämä säästötavoite toteutui ja jätti näin osaltaan joustonvaraa sopimuskaudelle 2017–2025.

Energiatehokkuussopimukset 2017–2025 ovat suora jatkumo edelliselle energiatehokkuussopimuskaudelle 2008–2016. Edellisen sopimuskauden tapaan liittyminen on vapaaehtoista ja toteutuksen pääpiirteet samat eli yritykset ja kunnat raportoivat vuosittain Motiva Oy:lle tekemistään energiantehokkuustoimenpiteistä. Uuden sopimuskauden tavoitteet tiukentuivat hieman aiemmasta sopimuskaudesta, sillä sähkön siirron- ja jakelun osalta energiansäästötavoite on 200 GWh. Sopimuskaudella 2008–2016 tavoite oli sähkön siirron- ja jakelun osalta 150 GWh, kuten aiemmin tässä luvussa mainittiin.

Vapaaehtoiset energiatehokkuussopimukset ovat EU-tasolla poikkeuksellinen keino toimenpanna EED:n edellyttämiä energiatehokkuustoimia. Monissa muissa Euroopan jäsenvaltioissa, kuten esimerkiksi UK:ssa, Tanskassa ja Ranskassa energiatehokkuutta sovelletaan kansallisen energiavelvoitejärjestelmän (EEOS) kautta. Tämänkaltaisen järjestelmä on kuitenkin yleisesti huomattavasti vapaaehtoista energiatehokkuussopimustoimintaa ankarampi valvontakeino. EEOS:t ovat usein laissa säädettyjä ja täten esimerkiksi tukevat sanktiomenettelyä, mikäli järjestelmään kuuluva yhtiö ei saavuta sille asetettuja tavoitteita. (IEA, 2011) Suomessa vapaaehtoista sopimuskäytäntöä on perusteltu etenkin turhien ylimääraisten hallintokustannusten välttämiseksi, joita koituisi esimerkiksi energiatehokkuusobligatioiden kaupankäynnistä. (Direktiivi 2012/27/EU)

2.2.2 Energiasäästötavoitteen määrittäminen

Energiatehokkuussopimusjärjestelmän kullekin toimenpideohjelmalle on määritetty omakohtainen ohjeellinen energiansäästötavoite. Käytännössä ohjeellinen energiansäästötavoite tarkoittaa yritykselle asetettua vähimmäistavoitetta, joka tulee asettaa sopimuksen ehtojen täyttämiseksi. Energiapalvelujen toimenpideohjelman, johon Elenia myös kuuluu, sopimuskaudelle 2017–2025 asetettu ohjeellinen energiansäästötavoite on 6 prosenttia. Aikaisemmalla sopimuskaudella 2008–2016 vastaava tavoite oli energiapalvelujen toimenpideohjelman osalta 5 prosenttia. Elenia on allekirjoittanut energiatehokkuussopimuksen, jossa se sitoutuu 6 prosentin tehostamistavoitteeseen sopimuskaudella 2017–2025 ja 1,5 prosentin suuruiseen välitavoitteeseen vuoteen 2020 mennessä. (Motiva Oy, 2016a)

Energiatehokkuussopimusta toteutetaan siten, että kullekin yritykselle määritellään sopimuskauden kattava konkreettinen energiansäästötavoite MWh –yksikössä. Sähköverkkoyhtiönä Elenian oman energiankäytön säästötavoite asetetaan nykyisten sähköverkon häviöiden sekä muun omakäytön, kuten sähköasemien ja kiinteistöjen energiankulutuksen perusteella. Sopimukseen määritetään sopimuskautta edeltävän vuoden häviöiden suuruus laskemalla yhteen sähköverkon häviöt ja muu energiankulutus. Edeltävän vuoden häviöiden suuruutta käytetään edelleen varsinaisen häviösäästötavoitteen laskemiseen, joka on suoraan prosentuaalinen osuus edeltävän vuoden häviöluvusta.

Merkittävä seikka sopimuksen energiansäästötunnusluvun osalta on se, että energiatehokkuussopimus ei edellytä yritykseltä absoluuttista energiansäästöä. Energiansäästön tavoitteluku tarkoittaa niitä aktiivisia toimia, joilla yritys parantaa energiatehokkuuttaan suhteessa perusuraan. (Motiva Oy, 2016a) Sopimus ei siis edellytä sähköverkon absoluuttisten häviöiden olevan pienempi tavoitevuosina 2020 ja 2025 kuin mitä se on sopimuksen allekirjoittamishetkenä. Sähköverkkoyhtiön kannalta tämänkaltaisen sopimusmenettely mahdollistaa sähköverkon kuormituksen yhtäaikaisen kasvun sekä energiatehokkuuden parantamisen. Näin ollen sopimus ei aiheuta rajoituksia liiketoiminnoille, kuten sähköliittymien myynnille tai uuden sähköverkon rakennuttamiselle.

Vuonna 2015 raportoidut Elenian sähköverkon omakäyttöhäviöt olivat noin 220 GWh, joten sopimuksen velvoittaman 6 prosentin energiansäästötavoitteen myötä Elenia on sitoutunut yli 13 GWh vuotuisen energiansäästöön vuoteen 2025 mennessä. Vastaavasti 1,5 prosentin välitavoite velvoittaa noin 3,3 GWh:n energiansäästöön jo vuoteen 2020 mennessä. (Elenia Oy, 2016)

2.2.3 Sopimukselliset toimenpiteet ja velvoitteet

Energiatehokkuussopimus velvoittaa yritystä tekemään energiansäästötoimenpiteitä sekä raportoimaan niistä vuosittain kevään aikana. Energiatehokkuuden vuosiraportoinnin ohella energiatehokkuussopimuksen keskeisiä velvoitteita ovat myös energiatehokkuuden tehostamissuunnitelman valmistelu, toiminnan organisointi sekä energiansäästötoimenpiteiden dokumentointi. Lisäksi energiatehokkuussopimuksen toiminnallisena tavoitteena on sisällyttää energiatehokkuustoiminta osaksi yrityksen käytössä olevia johtamisjärjestelmiä. (Motiva Oy, 2016a)

Energiatehokkuussopimuksen allekirjoittamalla Elenia on sitoutunut tehostamaan omaa energiankäyttöään kuudella prosentilla vuoteen 2025 mennessä. Toisaalta sopimus velvoittaa myös asiakkaiden energiatehokkuuden edistämiseen, vaikka asiakkaille suunnatuista toimista ei olekaan määritetty varsinaista energiamääristä tavoitetta käynnissä olevalle sopimuskaudelle. Verkkoyhtiön kannalta oman energiankäytön tehostaminen tarkoittaa pääasiassa toimenpiteitä, jotka kohdistuvat sähköverkon häviöiden vähentämiseen. Vastaavasti asiakkaiden energiatehokkuuden parantaminen käsittää käytännössä sellaisia toimenpiteitä ja palveluita, joilla energiakäyttöä voidaan tehostaa sopimuksen ulkopuolella olevien asiakkaiden keskuudessa. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi asiakkaille annettava energianeuvonta, energiankäytön kulutus palaute ja energiankulutuksen seurannan palvelut. Asiakkaille suunnattavia energiatehokkuustoimia tarkastellaan perusteellisemmin luvussa 3. (Motiva Oy, 2016a)

Energiatehokkuussopimus velvoittaa niin ikään energiatehokkuustoimien vuosittaiseen raportointiin. Energiansäästötoimenpiteitä raportoidaan sekä verkkoyhtiön oman energiankäytön että asiakkaiden energiankäytön tehostamisen osalta. Vuosiraportointi tehdään vuosittain keväällä Motiva Oy:n ylläpitämään www-pohjaiseen raportointijärjestelmään sopimuksen vastuuhenkilön toimesta. Energiatehokkuussopimusten seurantajärjestelmään raportoidaan vuoden aikana verkkoyhtiön toteuttamat energiatehokkuustoimet sekä ko. toimien seurantayksiköt, kuten vuosittaiset häviösäästöt (MWh), investoinnin suuruus (€) ja energiatehokkuustoimen elinikä (a). Vuosiraportoinnin ohella sopimus edellyttää myös raportoitavien energiasäästöjen dokumentointia. Tällöin laskemalla määritetyt ja järjestelmään raportoidut energiansäästötoimenpiteet tulee tarvittaessa voida osoittaa ja perustella niitä kysyttäessä. Dokumentointi voidaan toteuttaa esimerkiksi luvussa 2.2.4 esitetyn tehostamissuunnitelman kautta. (Motiva Oy, 2016a)

Toiminnan organisoinnin ja suunnittelun osalta energiatehokkuussopimuksen keskeisiä velvoitteita ovat vastuuhenkilön nimeäminen, tehostamissuunnitelman valmistelu ja sen päivittäminen. Sopimuksen vastuuhenkilö toimii yrityksen yhteyshenkilönä sopimusvelvoitteisiin liittyvissä asioissa sekä yrityksen että Motiva Oy:n suuntaan. Tällaisia velvoitteita ovat muun muassa koulutuksen järjestäminen ja tiedottaminen yrityksen sisällä. Käytännössä sopimuksen vastuuhenkilö vastaa myös energiatehokkuussopimustoiminnan organisoinnista ja resursoinnista yrityksen sisällä. Energiatehokkuustoiminnasta tulee laatia myös kirjallinen energiatehokkuuden tehostamissuunnitelma ja sisällyttää se olemassa olevaan johtamisjärjestelmään tai vaihtoehtoisesti laatia erillinen tehostamissuunnitelma. (Motiva Oy, 2016a)

2.2.4 Energiatehokkuuden tehostamissuunnitelma

Energiatehokkuussopimusjärjestelmään liittynyt yritys sitoutuu suunnitelmalliseen energiatehokkuuden edistämiseen. Käytännössä Energiateollisuus ry valvoo suunnitelmallisen energiatehokkuustoiminnan noudattamista edellyttämällä sopimuksen allekirjoittaneelta yritykseltä energiatehokkuuden tehostamissuunnitelmaa. Vaihtoehtoisesti suunnitelmaa ei edellytetä, mikäli yritys sisällyttää energiankäytön tehostamisen osaksi johtamis- ja toimintajärjestelmiä. (Motiva Oy, 2009)

Tehostamissuunnitelman ensisijainen tavoite on toimia työkaluna energiansäästötoimenpiteiden raportoinnissa ja seurannassa. Tällöin suunnitelman keskiössä ovat erityisesti toiminnan organisointi, potentiaalisten energiansäästötoimenpiteiden selvittäminen ja niiden toteuttamisen valvonta. Lisäksi suunnitelmassa tulisi olla yleisellä tasolla kerrottuna, miten energiatehokkuustoiminta on toteutettu yrityksen sisällä ja sen keskeiset tavoitteet sekä keinot niiden saavuttamiseksi. Tehostamissuunnitelmaa tulisi myös päivittää säännöllisesti laadukkaasti energiatehokkuustoiminnan varmistamiseksi. Asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisen osalta sopimus velvoittaa päivittämään suunnitelmaa vähintään kolmen vuoden välein. (Motiva Oy, 2009)

Energiateollisuus ry:n laatiman ohjesuunnitelman mukaan jakeluverkkoyhtiön tulee kartoittaa energiansäästötoimenpiteitä ainakin seuraavista osakokonaisuuksista:

1. Verkon suunnittelu
2. Verkon käyttötoiminta
3. Verkon komponenttitaso
4. Verkon asiakastoiminnot
5. Kiinteistöjen ja kuljetusten energiankäyttö

Käytännössä eri toiminnan osa-alueiden energiansäästötoimenpiteiden kartoittaminen tarkoittaa potentiaalisten energiansäästökohdeiden selvittämistä ja analysointia. Edelleen esimerkiksi energiakatselmusten kautta löydettyt potentiaaliset tehostamistoimenpiteet aikataulutetaan ja organisoidaan yrityksen sisällä. Tällöin löydettyistä tehostamistoimenpiteistä tehdään esimerkiksi taulukkolaskentatyökalua käyttämällä taulukko, josta on nähtävillä tärkeimmät tehostamistoimenpidettä koskevat tiedot, kuten toteuttamisaikataulu,

vastuuhenkilö(t) ja arvioidut säästövaikutukset. Ohjesuunnitelman mukaan tehostamistoimenpidelistaa tulee myös päivittää energiatoimenpiteiden edistyessä ja päivittää lopulliset tiedot toimenpiteen valmistuttua. Toisaalta toimenpidelistan reaaliaikainen käyttö mahdollistaisi myös uusien toimenpiteiden jatkuvan havainnoinnin, jolloin energiatehokkuus toimisi prosessinomaisesti. (Motiva Oy, 2009)

Energiatehokkuussopimus antaa yritykselle oikeuden määrittää ja tunnistaa itsenäisesti energiatehokkuuden kannalta merkittävimmät toimenpiteet kuitenkin siten, että toimenpiteitä kartoitetaan jokaisesta edellä esitetystä viidestä osakokonaisuudesta. Näiden osakokonaisuuksien sisällä yrityksellä on täydet oikeudet tunnistaa ja valita potentiaaliset energiatehokkuuskohteet. Tämän diplomityön yhtenä keskeisenä tavoitteena on tutkia ja analysoida verkkoyhtiön näkökulmasta potentiaalisia energiansäästötoimenpiteitä. Verkkoyhtiön näkökulmasta potentiaalisia toimenpiteitä tarkastellaan luvussa 4 ja luvussa 5 selvitetään laskentamalleja näiden toimenpiteiden raportoimiseksi. (Motiva Oy, 2009)

2.3 Energiansäästötoimenpiteiden määrittely

Energiatehokkuussopimustoiminnan vuosiraportoinnissa sovelletaan Motiva Oy:n laatimaa ohjeistusta ”Säästövaikutusten laskenta ja dokumentointi – Yleisiä pelisääntöjä” (Motiva Oy, 2017a). Ohjeistuksessa esitetään peruslinjaukset vuosiraportoinnissa hyväksyttävälle energiansäästötoimille ja käydään läpi häviösäästölaskennan keskeisiä perusperiaatteita. Tässä luvussa käydään läpi energiansäästötoimenpiteen käsite ja esitetään ohjeistuksen mukainen peruslinjaus raportoinnissa hyväksyttävälle energiansäästötoimenpiteille verkkoyhtiössä.

2.3.1 Energiansäästötoimenpiteiden peruslinjaukset

Energiansäästötoimenpide tarkoittaa aktiivista toimenpidettä, jolla saavutetaan energiasäästöä suhteessa perusuraan eli tilanteeseen, joka toteutuisi ilman aktiivisia toimenpiteitä. Lähtökohtaisesti sopimustoiminnassa ajatellaan siten, että toteutetut energiansäästötoimet parantavat aina energiatehokkuutta. Sopimustoiminnassa ei ole tarkoitus raportoida sellaisia energiansäästötoimenpiteitä, joilla ei saavuteta samanaikaisesti energiatehokkuutta. Tällainen ei-raportoitava energiansäästö on esimerkiksi yrityksen liiketoiminnan supistuminen, jossa muutostilanne tapahtuu muista kuin energiansäästösyistä. (Motiva Oy, 2017a)

Energiansäästötoimenpiteitä raportoidaan sekä asiakkaiden että oman energiankäytön tehostamisesta. Energiansäästö- ja sopimustavoitteen saavuttamisen kannalta merkitseviä ovat kuitenkin ainoastaan verkkoyhtiön omakäyttöä koskevat energiansäästötoimenpiteet, sillä asiakkaiden energiatehokkuuden parantamisesta ei raportoida konkreettisesti wattitunteina sopimustavoitteen kattamiseksi. Sopimustoiminta velvoittaa kuitenkin raportoimaan myös asiakkaiden energiatehokkuuden parantamisesta, sillä energiatehokkuus-

den tulee raportoida myös asiakkaille kohdistetuista toimenpiteistä EU:n suuntaan. Energiateollisuus ry:n energiatehokkuuspuolen asiantuntijan Sirpa Leinon mukaan (Leino, 2018) on kuitenkin mahdollista, että myös asiakkaille kohdistetuista energiansäästötoimenpiteistä voisi raportoida lähitulevaisuudessa energiamääräisiä energiansäästötoimenpiteitä. Tällä hetkellä asiakkaille kohdistetun energiatehokkuustoiminnan raportointi on haasteellista, sillä asiakkaille kohdistettavat energiansäästötoimenpiteet ovat yleensä ”pehmeitä” toimenpiteitä, kuten viestintään ja energiatehokkuusneuvontaan suuntaavia toimenpiteitä. Tämänkaltaisten toimenpiteiden vaikutusta on hyvin vaikea mitata tai laskennallisesti arvioida. Luvussa 3 pyritään selvittämään asiakkaille suunnattujen energiatehokkuustoimien raportoinnin keskeisiä haasteita sekä verkkoyhtiön näkökulmasta potentiaalisia uusia tekniikoita.

Vuosiraportoittavien energiansäästötoimenpiteiden elinikä määritetään käytännössä sen perusteella, onko kyseessä tekninen vai käyttötekninen energiansäästötoimenpide. Tekniset toimenpiteet ovat käytännössä ”kovia” toimenpiteitä, kuten uuden sähköverkon rakentamista, sähkönkulutusmittarien tai muuntajien uusimista. Vastaavasti käyttötekniset toimenpiteet liittyvät verkkoyhtiön osalta verkon käyttöön, kuten jakorajojen asetteluihin. Sopimustoiminnan energiansäästötavoitteen kannalta tekniset toimenpiteet korostuvat, sillä verkostokomponenttien pitoaikavälinä voidaan pitää verkkoyhtiön liiketoiminnassa lähtökohtaisesti 40 vuotta. (Energiavirasto, 2015) Vastaavasti käyttöteknisten toimenpiteiden lähtökohtaisena elinikänä voidaan pitää 2 tai 5 vuotta, mikäli yrityksellä on käytössä systemaattinen energianhallintajärjestelmä. Verkon käyttötoiminnan kannalta käyttötekniset toimenpiteet ovat kuitenkin usein todella lyhytikäisiä, sillä sähköverkon kytkentätilannetta muutetaan päivittäin useasti mm. verkon huolto- ja kytkentätöiden yhteydessä tai vikatilanteiden hallitsemiseksi. Tämän vuoksi verkon käyttötoiminnan kautta saavutettuja energiansäästöjä on hyvin vaikea arvioida. Verkkoyhtiön käyttötekniisiä toimenpiteitä tarkastellaan luvussa 4.5.2.

Energiasäästötoimenpiteen tulee olla mitattavissa tai arvioitavissa olevaa energiansäästöä. Lähtökohtaisesti energiansäästötoimenpiteen mittausta antaa tarkimman tuloksen energiansäästöä, joten mittausta tulisi suosia mahdollisuuksien mukaan. Edelleen energiasäästötoimenpiteiden mittaaminen sitoo myös vähemmän yrityksen resursseja, kun haastavilta energiansäästölaskemilta vältytään. Tapauskohtaisesti mittausta voidaan hyödyntää myös yhdessä laskennallisen arvioinnin tukena. Energiansäästötoimenpiteiden raportoinnin arvioinnin tulisi olla sitä tarkempaa mitä suuremmasta toimenpiteestä on kyse. Yleisenä ohjesääntönä voidaan pitää, että suuruudeltaan yli 5 prosenttia sopimustavoitteesta kattavien toimenpiteiden arvioinnin taustalla pitäisi olla tarkempaa selvitystyötä tarkentamassa taulukkolaskelmia. (Motiva Oy, 2018)

2.3.2 Korvausinvestoinnit

Korvausinvestoinnilla tarkoitetaan sellaista investointia, jossa nykyistä käytössä olevaa ja toimintakuntoista kapasiteettia korvataan uudella kapasiteetilla. Verkkoyhtiön kannalta tällainen tilanne on esimerkiksi nykyisten käytössä olevien sähkönkulutusmittarien uusiminen tai käytössä olevan ilmajohtoverkon maakaapelointi. Toisaalta esimerkiksi tilanne, jossa vaurioitunut pylväsmuuntamo korvataan uudella puistomuuntamolla ei ole energiansäästämielessä korvausinvestointi, vaan uusinvestointi. Tällaisessa tilanteessa uuden muuntamon rakentamisesta saa raportoida energiansäästötoimenpiteenä, mikäli se toteuttaa luvussa 2.3.3 esiteltyt ehdot. (Motiva Oy, 2017a)

Korvausinvestoinnin energiansäästövaikutusta määritettäessä lasketaan energiansäästön suuruus joko korvattavan tekniikan ja uuden tekniikan energiankulutuksen erotuksena tai vertaamalla uuden laitteen energiankulutusta nykyisen tekniikan tasoon. Lähtökohtaisesti energiansäästö on sallittua laskea korvattavan ja uuden tekniikan häviöiden erotuksen kautta, mikäli korvattavaa tekniikkaa on vielä saatavilla markkinoilla ja sitä edelleen käytetään Suomessa merkittävässä määrin. Vastaavasti, mikäli korvattavaa tekniikkaa ei ole enää saatavilla markkinoilla tai esimerkiksi standardin vaatimukset ovat tiukentuneet, tulee energiansäästön suuruus määrittää vertaamalla uuden tekniikan energiankulutusta standardinmukaiseen energiankulutukseen. (Motiva Oy, 2017a)

2.3.3 Uusinvestoinnit

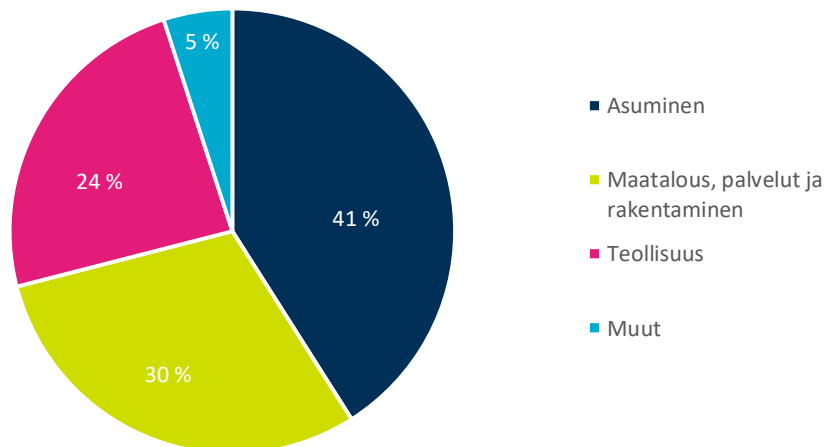
Uusinvestointi on käytännössä täysin uuden kapasiteetin rakentamista. Verkkoyhtiön kannalta uusinvestointi on esimerkiksi tilanne, jossa uudisrakennusalueelle rakennetaan uusi haarajohto tai jakelumuuntamo. Toisaalta myös rikkoutuneen tai käytöstä poistetun komponentin korvaaminen uudella komponentilla raportoidaan uusinvestointina. Uusinvestoinnin tapauksessa energiansäästöjä voidaan raportoida vain sellaisista investoinneista, joiden energiatehokkuus on voimassa olevia standardeja ja säädöksiä korkeammalla tasolla. (Motiva Oy, 2017a)

Uusinvestoinneiksi katsotaan myös sellaiset tilanteet, jossa esimerkiksi tulipalossa tuhoutunutta kapasiteettia korvataan uudella kapasiteetilla. Lisäksi uusinvestointeja ovat myös tilanteet, jossa vanhaa jo markkinoilta poistunutta tekniikkaa korvataan uudella tekniikalla. Verkkoyhtiön näkökulmasta esimerkiksi jakelumuuntajat ovat tällaisia usein hyvin vanhoja komponentteja, joiden vaatimustaso on ajan saatossa muuttunut. Tällöin esimerkiksi uuden muuntajan hankinnan tapauksessa tulee energiansäästön suuruutta arvioida suhteessa voimassa olevaan ecodesign-direktiiviin. (Motiva Oy, 2017a)

3. ASIAKKAIDEN ENERGIANKÄYTÖN TEHOSTAMINEN

Energiatehokkuustoiminnalla on merkittävä vaikutus verkkoyhtiön oman toiminnan ohella myös sen loppuasiakkaisiin. EU:n asettamat direktiivit ja edelleen kansalliset lait velvoittavat myös monia muita toimijoita, kuten teollisuutta ja kuntia parantamaan energiatehokkuuttaan energiatehokkuussopimustoiminnan kautta. Toisaalta eri tahoille kohdistetut energiatehokkuuden parantamisvelvoitteet vaikuttavat lopulta myös verkkoyhtiön yksittäisten asiakkaiden sähkönkäyttöön, kun esimerkiksi EU:n markkinoilla saa myydä tekniikan kehittyessä vain tietyn standardinmukaisia sähkölaitteita. Asiakkaiden sähkönkulutuksen trendin muuttuessa verkkoyhtiöiltä odotetaan aiempaa suurempaa roolia asiakkaidensa sähkönkäytön ohjaamisessa sekä energiatehokkuuteen liittyvien palvelujen tarjoajana. Tässä luvussa tarkastellaan sähkönkuluttajien energiatehokkuuden edistämisen mahdollisuuksia ja haasteita verkkoyhtiössä.

Elenian asiakassegmenttejä ovat asuminen, maatalous, teollisuus ja palvelusektori, joista asuminen kattaa yli 40 prosenttia vuotuisesta sähkönsiirtovolyymista (kuva 3.1) ollen näin yhtiön suurin asiakassegmentti. Asiakaslukumäärältään asumisen osuus on ylivoimaisesti suurin asiakassegmentti 85 prosentin osuudellaan. (Elenia Oy, 2018a)



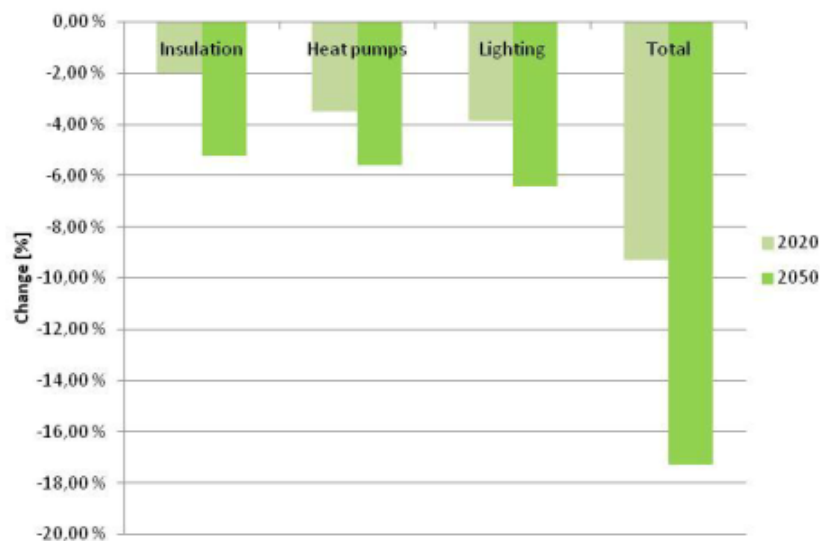
Kuva 3.1 Siirtovolyymin jakautuminen asiakassegmenttien kesken (Elenia Oy, 2018a)

(Tuunanen et al., 2013) mukaan asuminen on teknistaloudellisesti potentiaalisin asiakassegmentti energiatehokkuuden parantamisen näkökulmasta. Arvioiden mukaan asuminen mahdollistaa jopa 50 prosenttia tavoitellusta energiansäästöstä vuoteen 2020 mennessä. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että energiatehokkuustoimenpiteet teollisuudessa, maataloudessa ja palvelualoilla ovat usein aikaa vieviä, minkä lisäksi teknologia ei ole

yleisesti vielä tarpeeksi kehittynyttä. Lisäksi energiatehokkuuden markkinointi asumisen sektorille on yleisesti helpompaa ja kustannustehokkaampaa, kun esimerkiksi lämmitys- ja valaistustekniikat ovat jokaisella asiakkaalla samankaltaisia. Edellä mainitun vuoksi luvussa 3.1 esitellyt energiansäästökohteet on valittu asumiskuluttajan energiankäytön perusteella. Vastaavasti luvussa 3.2 selvitetään verkkoyhtiön keinoja edistää asumiskuluttajan energiatehokkuutta ja luvuissa 3.3–3.6 käsitellään verkkoyhtiön energiatehokkuusraportoinnin haasteita asiakkaiden osalta ja annetaan kehitysehdotuksia.

3.1 Sähkön pienkuluttajien energiankäytön trendi

Verkkoyhtiön asiakkaiden sähkönkäyttö on kovassa muutoksessa. Asumisen energiatehokkuutta on viime vuosina saatu parannettua huomattavasti muun muassa valaistusta, lämmitystä ja lämmöneristystekniikoita kehittämällä. Viime vuosina myös kotien sähkölaitekanta on päivittynyt: kodinkoneet ja viihde-elektroniikka ovat enää hyvin harvoin yli kymmenen vuotta vanhoja. (Suur-Uski 2018) Tällä vuosikymmenellä valaistuksen energiankulutus on lähes puolittunut vuoden 2010 vertailuarvosta, lämpöpumppujen määrä on noin kymmenkertaistunut 2000-luvun alusta, minkä lisäksi rakennukset lämpöeristävät aiempaa energiatehokkaimmaksi rakennusten energiatehokkuusasetuksen myötä. (Tuunanen et al., 2013) Kuvassa 3.2 on esitetty valaistuksen, lämpöpumppujen ja eristysenergiesästäöskenaariot vuodelta 2013 vuosille 2020 ja 2050.



Kuva 3.2 Lämmöneristysten, lämpöpumppujen ja valaistuksen energiatehokkuuden kehittyminen (Tuunanen et al., 2013)

Kuvan 3.2 perusteella eristys-, lämpöpumppujen ja valaistuksen yhteenlaskettu säästövaikutus vuodesta 2013 vuoteen 2020 mennessä on lähes 10 prosenttia. Vastaava luku vuodelle 2050 on yli 17 prosenttia. Eristyksen osalta energiasäästövaikutuksen arvio perustuu tutkimukseen (Honkapuro et al., 2012), jossa erilaisten rakennustyyppien lämmöntarpeen arvioitiin realistisen arvion mukaan laskevan 5 prosentilla vuoteen 2020 men-

nessä ja 50 prosentilla vuoteen 2050 mennessä. Lämpöpumppujen mahdollistama energiatehokkuuden ennuste perustuu diplomityöhön (Tuunanen, 2009), jossa Suomen lämpöpumppujen lukumäärän arvioidaan olevan miljoona kappaletta vuonna 2020 ja pumpputen energiatehokkuuden kehittyvän vuoteen 2050 mennessä. Valaistuksen energiatehokkuuden ennusteen taustalla on oletus, että kaikki hehkulamput tullaan korvaamaan asteittain ekodirektiivin (Komission asetus 244, 2009) vaatimusten mukaisilla valaistustekniikoilla.

Tähän mennessä verkkoyhtiön asiakkaiden energiatehokkuutta on saatu edistettyä eniten valaistuksen energiatehokkuutta edistämällä sekä lämpöpumppujen lukumäärän jyrkän kasvun ansiosta. Näiden energiatehokkuustoimien kautta asiakkaiden energiaa voidaan ennusteen mukaan säästää yhteensä vielä noin 4 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Tällä hetkellä merkittävä säästöpotentiaali on asumisen lämmöneristyksen parantamisessa, sillä rakentamisen energiatehokkuus toteutuu hitaammin pidemmällä aikavälillä uusien rakennusten rakennuttamisen myötä. Myös kotitalouksien valaistuksen osalta lunastamattomasta energiansäästöpotentiaalia on vielä paljon jäljellä, sillä energiatehokkaasta valaistuksesta huolimatta vain noin 40 prosenttia kodeista on valaistu LED-lampuilla. (Suur-Uski, 2018)

Tilastokeskuksen keräämän aineiston perusteella asumisen sähkönkäyttö on pysynyt suhteellisen tasaisena vuosina 2010–2016. Taulukossa 3.1 on esitetty asumisen sähkönkulutuksen kehitys vuosina 2010–2016

Taulukko 3.1 Asumisen sähkönkulutus vuosina 2010–2016, GWh. Perustuu lähteeseen (Tilastokeskus, 2018)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Asuminen yhteensä	22 904	21 426	22 382	21 510	21 264	20 917	22 514
Asuinrakennusten lämmitys							
Varsinaiset asuinrakennukset yhteensä	13 096	12 452	12 835	12 472	12 496	12 361	13 347
Erilliset pientalot	9 903	9 497	9 752	9 544	9 581	9 462	10 236
Rivi- ja ketjutilat	2 041	1 826	1 929	1 793	1 769	1 755	1 900
Asuinkerrostalot	1 152	1 129	1 154	1 135	1 146	1 144	1 211
Vapaa-ajan asuinrakennukset	841	762	801	755	780	776	973
Asuinrakennusten lämmityksestä							
saunojen lämmitys	1 105	1 098	1 116	1 116	1 119	1 115	1 220
käyttöveden lämmitys	2 693	2 665	2 625	2 594	2 570	2 558	2 561
Kotitalouslaitteet	8 967	8 212	8 746	8 284	7 988	7 780	8 194
Valaistus	2 702	2 482	2 349	2 115	1 919	1 876	1 770
Ruuan valmistus	701	691	604	585	578	574	580
Muut sähkölaitteet	5 564	5 039	5 793	5 584	5 491	5 330	5 844

Taulukosta 3.1 nähdään, että viime vuosien merkittävin asumisen sähkönkulutuksen vähentyminen on tapahtunut valaistuksen sähkönkulutuksessa, jossa suhteellinen lasku on lähes 35 prosenttia vuosien 2010 ja 2016 välillä. Valaistuksen ohella myös ruoan valmistuksen ja käyttöveden sähköenergiankulutuksen trendit ovat loivasti laskevia. Lisäksi taulukko 3.1 osoittaa lämmityksen suuren osuuden sähköenergiankulutuksessa, sillä esimerkiksi vuonna 2016 lämmitys kattoi lähes 60 prosenttia koko asumisen sähkönkulutuksesta. Lämpötila ja sitä kautta lämmöntarve ja lämmitys ovat myös merkittävimpiä sähkönkulutusta lyhyellä aikavälillä selittäviä tekijöitä, mikä on helposti havaittavissa lähes 1000 GWh:n kasvusta asumisen sähkölämmityksessä vuosien 2015 ja 2016 välillä. Vuosi 2016 oli selkeästi vuotta 2015 kylmempi ja sitä kautta myös lämmöntarve huomattavasti suurempi. (Tilastokeskus, 2016) Myös muiden sähkölaitteiden energiankulutuksen kasvu vuonna 2016 selittyy pääosin lämmöntarpeen kasvulla. ”Muut sähkölaitteet” luokkaan kuuluvat perus kotitalouslaitteiden lisäksi myös autojen moottori- ja sisätilan lämmitys, joten sitä kautta kylmempi sää kasvattaa myös tämän luokan sähköenergiankulutusta. (Rouhiainen, 2018)

Tällä hetkellä verkkoyhtiön keinot vaikuttaa asiakkaiden energiatehokkuuteen ovat melko rajalliset. Nykytilanteessa asiakkaiden energiankäyttöä voidaan tehostaa verkkoyhtiössä pääasiallisesti viestinnällisin keinoin ja erilaisten energiapalveluiden kautta. Toisaalta myös energiatehokkuuden markkinoinnissa on omat rajoitteensa sähkömarkkinain lain edellyttäessä verkkoyhtiöiltä tasapuolista ja syrjimätöntä kohtelua sähköverkkoliiketoiminnan eri osapuolia kohtaan. Täten verkkoyhtiöt eivät voi markkinoida liiketoimintansa esimerkiksi tietyn toimijan energiatehokkuuspalveluita tai -tuotteita, vaan energiatehokkuuden markkinointi rajoittuu lähinnä sähkönkäytön opastuksen tasolle. Verkkoyhtiön asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisen osa-alueita tarkastellaan luvussa 3.2 ja kysyntäjouston (DR) potentiaalia asiakkaiden energiatehokkuuden edistämässä tarkastellaan luvussa 4.5.1.

3.2 Asiakkaan energiatehokkuutta edistävät toimenpiteet

Energiatehokkuussopimustoiminnassa verkkoyhtiön asiakkaiden energiatehokkuuden edistämistä tarkastellaan neljän osa-alueen kautta: 1) viestintä 2) neuvonta 3) kulutuspalautte- ja laskutus ja 4) muut energiapalvelut. Asiakkaille suunnatut toimenpiteet jaetaan edelleen lakisääteisiin ja sopimustoiminnan mukaisiin toimenpiteisiin. Lakisääteiset toimenpiteet käsittävät verkkoyhtiön näkökulmasta laskutukseen ja kulutuspalautteeseen liittyviä laissa asetettuja toimenpiteitä. Vastaavasti sopimustoiminnan mukaiset toimenpiteet ovat verkkoyhtiön toteuttamia vapaaehtoisia energiatehokkuuspalveluita, joista ei ole erikseen laissa säädetty. Kuten luvussa 2 todettiin, EDD velvoittaa kuitenkin edistämään ja raportoimaan myös asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisestä. Tällöin raportointijärjestelmä toimii sopimusosapuolien yhteisenä dokumentointialustana, jotta energiateollisuus voi raportoida sähkönkäyttäjien energiatehokkuuden edistämisestä ylävirtaan EU-tasolle. (Energiateollisuus, 2017b)

Asiakkaan energiatehokkuuden edistämisen toimenpiteet ovat energiatehokkuuspalveluita (taulukko 3.2), joiden perimmäisenä ajatuksena on edistää asiakkaan energiatehokkuutta ja tuottaa asiakassuhteelle lisäarvoa. (Matschoss et al., 2014) Lisäksi hyvin suunniteltu ja laadukas palvelu voi tukea yrityksen liiketoimintaa myös lisätuottojen näkökulmasta. Verkkoyhtiön tapauksessa asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisen liiketaloudellinen näkökulma on pääasiassa asiakassuhteen lisäarvon luomisessa, sillä asiakkaiden energiatehokkuuden edistäminen ja sitä kautta sähkönsiirron väheneminen pienentää verkkoyhtiön liikevoittoa. (Tuunanen et al., 2013) Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa (LUT) tehdyssä tutkimuksessa sähkön pienkuluttajien energiatehokkuuden edistämällä arvioitiin olevan jopa -5 prosentin vaikutus verkkoyhtiön liikevoiton suuruuteen nykyisellä tariffirakenteella vuosien 2013–2020 välillä. Vuodelle 2050 vastaava luku oli yli -9 prosenttia.

Taulukko 3.2 Yleisimmät käytössä olevat energiatehokkuuspalvelut (Matschoss et al., 2014)

Energiakatselmukset ja energianeuvonta
Tiedon tarjoaminen laitteiden energiankulutuksesta
Energiatehokkuusneuvonta puhelimessa, verkossa tai sähköpostitse
Kulutusraporttien toimittaminen asiakkaalle
Mittarin etäluenta ja mahdollisuus seurata omaa kulutusta verkossa
Sähkönkulutuspalaute
Sähkönkulutusmittareiden lainaus
Painettu materiaali (oppaat yms.)
Yleinen informaatio ja tiedotuskampanjat

Taulukossa 3.2 esitetyt energiatehokkuuspalvelut ovat yleisimpiä kansainvälisesti käytössä olevia energiatehokkuuspalveluita energiayhtiöissä. Verkkoyhtiöillä on valtava potentiaali energiatehokkuuspalveluiden kehittämisen osalta, sillä merkittävä osa energiatehokkuuspalveluista perustuu sähkönkulutusdataan ja sen analysointiin. Lisäksi sähkönkuluttajat mieltävät verkkoyhtiön luontevimmaksi energiatehokkuuspalveluiden tarjoajaksi. Energiatehokkuus Suomessa –kyselyn tulosten perusteella lähes 60 prosenttia vastanneista pitää verkkoyhtiötä sopivimpana tahona tarjoamaan energiatehokkuuspalveluita. (Matschoss et al., 2014)

3.2.1 Energiatehokkuusneuvonta

Energiatehokkuusneuvontaa annetaan perinteisesti puhelimitse, sähköpostitse tai internetin kautta. Energiatehokkuusneuvonta voi olla myös paikan päällä annettavaa neuvontaa esimerkiksi energiakatselmuksen tai koulutuksen kautta. (Delmas et al., 2013) mukaan paikan päällä annettava energiatehokkuusneuvonta on energiansäästön kannalta kaikkein tehokkain palvelu. Kattavan, 156:sta kenttäkokeesta koostuvan meta-analyysin tulosten perusteella vuorovaikutteinen energiatehokkuusneuvonta johtaa keskimäärin jopa 7,4 prosentin energiansäästöön. Tutkimustulokset osoittavat, että erityisesti henkilökohtaiseen sähkönkulutuspalautteeseen kohdistuvat palvelut ovat tehokkaita, kun taas rahalliset kannusteet ja palvelut johtivat jopa suhteellisen energiankäytön kasvuun.

Eleniassa energiatehokkuusneuvontaa annetaan tyypillisesti asiakaspalvelun kautta puhelimitse sekä erilaisten koulutustapahtumien kautta. Tällaisia koulutustilaisuuksia ovat esimerkiksi alakoululaisille järjestettävä opetus energiatehokkuudesta. Tällä hetkellä puhelimitse tehtävä energiatehokkuusneuvonta on passiivista ja energiatehokkuusneuvontaa annetaan pääsääntöisesti vain asiakkaan palvelua pyytäessä. Puhelimitse tapahtuvan neuvonnan tapaan myös sähköpostitse tapahtuva energiatehokkuusneuvonta on passiivista, mutta tarvittaessa asiakkaan energiatehokkuuskysymyksiin vastataan. Internetissä annettava energiatehokkuusneuvonta perustuu käytännössä isompien asiakasryhmien tavoittamiseen viestinnän kautta, eikä internetissä tarjota tällä hetkellä vuorovaikutteista energiatehokkuuspalvelua.

Kuluttajatutkimuskeskuksen asiakaskyselyn perusteella vastaajat ovat energiatehokkuusneuvonnasta kiinnostuneita, mikäli palvelu on maksuton. Yksi kyselytulosta selittävä tekijä on se, että valtaosa tällä hetkellä tarjolla olevista energiatehokkuusneuvontapalveluista on maksuttomia, joten asiakkaat eivät ole halukkaita maksamaan samankaltaisista palveluista lisämaksua. Kyselytutkimuksen perusteella yli puolet vastanneista eivät ole kiinnostuneita maksamaan energiatehokkuusneuvonnasta. Verkkoyhtiön kannalta tulos osoittaa, että neuvonta kannattaa resurssitehokkuuden kannalta keskittää suuremmille joukoille ja toimijoille, kuten esimerkiksi taloyhtiöille tai eri jäsenistöjen edustajille. Tätä kautta energiatehokkuus tavoittaa yhä useamman tahon, kun esimerkiksi taloyhtiön isännöitsijä voisi tiedottaa energiatehokkuudesta edelleen asukkaiden suuntaan. (Matschoss et al., 2014)

3.2.2 Energiatehokkuusviestintä

Energiatehokkuusviestintä on käytännössä energiatehokkuuden markkinoimista asiakkaalle viestinnällisin keinoin. Energiatehokkuudesta voidaan viestiä asiakkaan suuntaan mm. verkkosivujen, painetun materiaalin, sosiaalisen median sekä erilaisten tapahtumien ja kilpailujen kautta. (Breukers et al., 2013) mukaan viestinnän ja muun yleisen informaat-ion vaikutusta asiakkaan energiatehokkuuden edistämiseen on vaikea osoittaa; ne ovat kuitenkin merkittäviä energiatehokkuutta edistäviä tukipalveluita.

Eleniassa energiatehokkuusviestintää tuotetaan asiakkaan suuntaan yrityksen kotisivuilla, sosiaalisessa mediassa, painetun materiaalin muodossa sekä tapahtumien järjestämisen kautta. Kotisivuille on laadittu oma alisivunsa energiatehokkuutta varten, jonka toiminta perustuu pääasiassa energiasäästövinkkien jakamiseen. Sivuille tuotetaan järjestelmällisesti uutta sisältöä esimerkiksi kuukausittaisten energiasäästövinkkien muodossa. Kuukausittaisten vinkkien lisäksi energiasäästöä annetaan yleisen tason opastusta merkittävimmille luvussa 3.1 käsitellyille kotitalouksien sähkönkulutuskohteille. Energiasäästö-vinkkien yhteydessä asiakasta pyritään ohjaamaan myös Elenia AINA-palvelun suuntaan, jossa asiakkaan on mahdollista verrata toimenpiteiden muutosvaikutusta omaan sähkönkäyttöön. Sosiaalisen median osalta energiatehokkuusviestintä keskittyy tällä hetkellä Instagramiin, Facebookiin ja LinkedIn:iin. Myös sosiaalisen median energiatehokkuusviestintä on järjestelmällistä, sillä energiatehokkuusviestinnästä on laadittu oma erillinen toimenpidesuunnitelmansa. (Aaltonen, 2018)

Perinteisten viestinnän keinojen lisäksi asiakkaiden energiatehokkuutta edistetään myös erilaisten tapahtumien ja näkyvyyden kautta. Tällaisia tapahtumia ovat esimerkiksi Motivan vuosittain järjestämä energiasäästöviikko ja sosiaalisessa mediassa järjestettävät energiatehokkuuskampanjat. Energiasäästöviikon osalta energiatehokkuuden edistäminen perustuu lähinnä näkyvyyden lisäämiseen sekä yhtiön imagon vahvistamiseen. Vastaavasti energiatehokkuuskampanjojen keinot perustuvat pitkälti erilaisiin kannustimiin, kuten arvontapalkintoihin. Energiatehokkuuskampanjoissa asiakkailla on mahdollisuus voittaa palkintoja esimerkiksi Elenian AINA-palveluun liittymällä. Tulevaisuudessa energiatehokkuusviestintää pyritään laajentamaan entisestään mm. videotuotannon kautta yhdessä mainostoimiston kanssa. (Aaltonen, 2018)

3.2.3 Kulutus palaute ja laskutus

Verkkoyhtiön tulee raportoida energiatehokkuussopimusjärjestelmään lakisääteisistä energiatehokkuustoimenpiteistä asiakkaalle suunnattavan kulutuspalautteen ja laskutuksen osalta. Näistä energiatehokkuustoimista raportoidaan ainoastaan kyllä/ei –tyylisesti, joten lakisääteisten toimenpiteiden pääasiallisena tarkoituksena on valvoa lähinnä energiatehokkuustoimintaan liittyvän lainsäädännön toteutumista verkkoyhtiöissä. Alla on listattuna joitakin tyypillisiä sopimusjärjestelmään raportoitavia lakisääteisiä energiatehokkuustoimenpiteitä (Energiateollisuus, 2017b):

- Asiakkaalla mahdollisuus seurata omaa sähkönkulutustaan sähköisesti
- Asiakkaalla mahdollisuus saada kulutustiedot reaaliaikaisesti
- Asiakkaan käyttöraportoinnissa käytetään muitakin sähköisiä kanavia, kuten mobiilisovelluksia
- Asiakkaalla käytössä energiankäyttöä ohjaava hinnoittelu
- Asiakkaiden kulutustietoja toimitetaan kolmansille osapuolille

Edellä esitetystä listauksesta nähdään, että kaikista Motivalle raportoitavista lakisääteistä toimenpiteistä ei ole varsinaisesti säädetty lailla; esimerkiksi sähkönkulutuksen seurannan tarjoaminen mobiilisovelluksen kautta on verkkoyhtiöissä vapaaehtoisesti järjestettävä palvelu.

Sähkömarkkina- ja laissa on säädetty verkkoyhtiön laskutukseen sekä sähkönkulutusmittaukseen liittyvistä velvoitteista. Laissa verkkoyhtiötä velvoitetaan järjestämään asiakkaille todelliseen sähkönkulutukseen perustuva tuntimittauslaitteisto sekä vastaamaan tuntimittausjärjestelmän toiminnasta. (Sähkömarkkinalaki 588, 2013) Niin ikään verkkoyhtiötä velvoitetaan myös ylläpitämään ja raportoimaan asiakkaidensa sähkönkulutustietoja muille sähkömarkkinoiden osapuolille sekä asiakkaille. Energiategohokkuusdirektiivin johdosta lakiin on lisätty velvoite ilmoittaa laskun mukana asiakkaille todellinen sähkönkulutus, hintatiedot sekä vertailumahdollisuus edellisen vuoden sähkönkulutusdataan. Laki ei velvoita antamaan sähkönkulutuksen vertailutietoja varsinaisessa sähkölaskussa, vaan tiedot voidaan antaa esimerkiksi internetissä järjestettävän sähkönkulutuspäalvelun kautta. Eleniassa sähkönkulutuksen vertailupäalautetta ja sähkönkulutustaan voi seurata Elenia AINA -päalvelussa.

3.2.4 Muut energiapäalvelut

Muut energiapäalvelut ovat energiapäalveluita, joita ei voi luokitella energiategohokkuusneuvontaan ja -viestintään tai laskutukseen liittyviin päalveluihin. Käytännössä tällaisia päalveluita ovat esimerkiksi erilaiset sähköiset päalvelut ja muut energiategohokkuuden ohjauspäalvelut. Motivan mukaan muita energiapäalveluita ovat muun muassa (Motiva Oy, 2017b):

- Energiakatselmukset ja analyysit
- Kysyntäjouston edistäminen ja muut ohjauspäalvelut
- Energiategohokkuustuotteiden myynti/markkinointi
- Kehityshankkeet asiakkaiden kanssa
- Henkilökohtainen lämmitysjärjestelmän opastus
- Muut innovatiiviset päalvelut

Edellä esitetyistä päalveluista Eleniassa asiakkaan suuntaan tarjottavia muita energiategohokkuuspäalveluita ovat pääasiassa erilaiset kehityshankkeet asiakkaiden kanssa, kysyntäjouston (DR) liittyvien päalveluiden kehittäminen ja muut innovatiiviset päalvelut. Eleniassa kysyntäjoustoa edistetään käytännössä nk. virtuaalivoimalaitos (VVL) -hankkeen kautta, jossa asiakkailla olisi mahdollisuus tulevaisuudessa osallistua sähköverkon taajuuden säätöön tarjoamalla omia kulutuskuormiaan markkinaosapuolen säädettäväksi. VVL toimii siten, että esimerkiksi säädettävää lämmityskuormaa omistavista asiakkaista kootaan riittävän suuri yhtenäinen säätökapasiteetti Fingridin hallinnoimille säätösähkömarkkinoille. Nykyinen kysyntäjoustomarkkinoiden minimisäätötarjous on 0,1 MW (Fingrid Oyj, 2018), jolloin yksittäisen sähkönpäienkuluttajan on käytännössä mahdotonta osallistua markkinoille ilman VVL:n kaltaisia mekanismeja. Tällä hetkellä VVL -hanke

on Eleniassa vielä pilotointiasteella, kun potentiaalisia asiakkaita ja teknisiä ominaisuuksia selvitetään. VVL tekninen pilotti on tarkoitus toteuttaa syksyn 2018 aikana, minkä jälkeen on tarkoitus selvittää osallistumista säätösähkömarkkinoille. Kysyntäjouaston osuutta energiatehokkuuden edistämisen osalta tarkastellaan luvussa 4.5.1.

Muiden innovatiivisten energiapalveluiden osalta Elenia tarjoaa asiakkailleen kokonaisvaltaista sähköasioiden hoitoon suunnattua webissä ja mobiilissa saatavilla olevaa Elenia AINA -palvelua. Palvelussa asiakkaat pystyvät seuraamaan sähkönkulutustaan tuntitasolla, vertailemaan sähkönkulutustaan vastaavaan sähkönkuluttajaryhmään ja tutkimaan sähkönsiirtohinnan muodostumista, kuten sähkömarkkinalaissa veloitetaan. Energiankulutuksen tietoja on mahdollista tarkastella joko energiamääräisesti (kWh) tai euromääräisesti ja sähkönkulutustaan pystyy tarkastelemaan joko vuosi-, kuukausi-, viikko-, päivä ja tuntitason kulutustiedot valitsemalla. Tällä hetkellä palvelussa on mahdollista nähdä oma sähkönkäyttötietonsa noin parin päivän viiveellä toteutuneesta kulutuksesta. Lähtölevaisuudessa asennettavilla sähkönkulutusmittareilla on tarkoitus mitata 5 minuutin energioita, jolloin sähkönkäyttäjän on mahdollisuus seurata sähkönkulutustaan lähes reaaliaikaisesti.

3.3 Asiakkaille suunnattujen energiatehokkuustoimien seuranta

Asiakkaiden energiatehokkuuden edistäminen viestinnän ja neuvonnan kautta on osa Elenian brändi- ja viestintästrategiaa. Täten asiakkaille suunnattuja energiatehokkuustoimia suunnitellaan ja toteutetaan systemaattisesti. Asiakkaiden energiatehokkuuden edistämistä suunnitellaan ja seurataan sekä viestinnän että sähkönsiirtoprosessien ohjausryhmissä nk. energiatehokkuusviestinnän vuosikellon ja tuloskorttien kautta. Taulukossa 3.3 on esitetty energiatehokkuusviestinnän vuosikello tammi- ja helmikuun ajalta.

Taulukko 3.3 Energiatehokkuusviestinnän vuosikello (Elenia Oy, 2018b)

Energiatehokkuuden viestinnälliset toimenpiteet	Kanava	Vastuu	Tammi	Helmi
Elenia Aina				
Tietoa Elenia Ainasta	Elenia Info, uutiskirje, some		laskunliite	
Kampanja- Liity Elenia Ainaan -> osallistut arvontaan	some			
Laskun infoboxi	printti ja sähköinen lasku			
E-laskun freimiin	e-lasku			
Energiansäästövinikit				
Kuukauden vinkki	Web, Facebook		ikkunoiden tiivistys	mittari lämpötila
Tapahtumat				
Energiansäästöviikko: tehdään erillinen suunnitelma	Web, FB, Instagram, LinkedIn			
Hei, kaikki toimii! -opetusmateriaalit	web, Motivan sivu			
Kampanjat, kisat				
Energiansäästö-aiheinen kisa yleisölle	Web, some			
Elenialaiset vinkkaavat + valokuva tai video	FB, Instagram, web			
E-laskun markkinointi				
e-laskukampanja (osallitu arvontaan)	Web, FB, uutiskirje, laskunliite			
Ympäristötyö # kestäväkehitys				
Kerran kuussa postaus	Some		mukit	pyöräily töihin
Videoita energiatehokkuudesta!				
Suunnittelu ja konseptointi mainostoimiston kanssa				

Energiatehokkuuden viestinnällisiä toimenpiteitä suunnitellaan ja seurataan järjestelmällisesti energiatehokkuusviestinnän vuosikellon kautta. Energiatehokkuusviestinnän vuosikello toimii siten, että asiakkaille suunnatun energiatehokkuustoiminnan eri osa-alueille suunnitellaan energiatehokkuutta edistäviä toimenpiteitä, jotka aikataulutetaan kuukausitasolla. Tämän lisäksi kullekin toimenpiteelle määritetään viestinnän kohdekanavat sekä toteutuksen vastuuhenkilö.

Energiatehokkuusviestinnän vuosikellon ohella asiakkaille suunnattujen viestinnällisten energiatehokkuustoimien toteutumista seurataan säännöllisesti sähkönsiirtoprosessin sekä viestinnän ohjausryhmissä. Energiatehokkuusviestinnän toteumaa seurataan Elenian tulokorttijärjestelmän kautta. Kuvassa 3.3 on havainnollistava kuva energiatehokkuusviestinnän tulokortille raportoinnista.

	Period	Actual	Actual YTD F.	Target Full Year	Forecast	Fulfil
▲	Q4 2017	2	10	10		
	Q3 2017	2	8	10		
	Q2 2017	2	6	10		
▼	Q1 2017	4	4	10		

Q4 2017 Done

Comment + **Recent comment in the period**

Lähetimme loka- ja marraskuun printtilaskujen mukana asiakkaille Elenia Infon, jossa pääaiheena oli sähkönkulutuksen seuraaminen Elenia Aina -palvelussa.

Sender: Aaltonen, Soili (Viestintä)

Kuva 3.3 Energiatehokkuusviestinnän tulokortti. (Elenia Oy, 2018b)

Kuvassa 3.3 esitetyistä tulokortista huomataan, että energiatehokkuusviestinnän vuosikellossa suunniteltujen toimenpiteiden toteumaa seurataan järjestelmällisesti tulokorttijärjestelmän kautta. Tulokortilla on esitettyä vuoden aikana toteutettavien viestinnällisten energiatehokkuustoimien tavoitelukumäärä sekä kumulatiiviset toteumat kvartaaleittain. Varsinaisten energiatehokkuustoimien toteuman seurannan ohella tulokortille on mahdollisuus raportoida myös sanallisesti toteutuneesta energiatehokkuustoimesta. Kuvassa näkyvä vihreä pallomerkki kertoo energiatehokkuustoimien toteutuksen nykytilan olevan suunnitellun toteuman mukainen. Vastaavasti tulokortilla esiintyy punainen pallomerkki, mikäli energiatehokkuustoimien toteuma ei ole toteutunut suunnitellusti.

3.4 Asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisen kehityshetköt

Verkkoyhtiöt voivat edistää asiakkaidensa energiatehokkuutta pääasiallisesti viestinnällisin keinoin ja lakisääteistä sähkönkulutuksen mittauspalvelua tarjoamalla. Elenian kohteissa asiakasmäärältään suuressa verkkoyhtiössä viestinnän vaikutus asiakkaiden energiatehokkuuden edistämässä korostuu, kun samalla panoksella pystytään vaikuttamaan yhä useampien sähkönkäyttäjien kulutustottumuksiin. Tällöin informaation muotoilulla ja viestinnän esitystavalla on merkittävä rooli energiatehokkuuden markkinoinnissa asiakkaalle. Luvussa 3.4.1 selvitetään, kuinka informaation esitystavalla pystytään

ohjaamaan sähkönkäyttäjien kulutustottumuksia kustannustehokkaasti ja suhteellisen yksinkertaisia muutostoimenpiteitä tekemällä.

Perinteisen energiatehokkuusviestinnän ohella tuntimittausdata mahdollistaa verkkoyhtiöille valtaisan potentiaalin asiakkaiden energiatehokkuuden edistämiseksi. Sähkönkuluksmittarien mittaustekniikan ja -palveluiden kehittyminen tarjoavat asiakkaille aiempaa suuremmat mahdollisuudet seurata ja vaikuttaa omaan sähkönkäyttöönsä. Luvussa 3.4.2 selvitetään tuntimittausdatan hyödynnettävyyttä verkkoyhtiöiden asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisessä.

3.4.1 Nudging-teorian hyödynnettävyys energiatehokkuuden markkinoimisessa asiakkaalle

Nudging-konsepti on kuluttajien asenteita ja toimitapoja ohjaileva mekanismi, jolla kuluttajien päätöksiä pyritään hienovaraisesti ja lähes näkymättömästi ohjaamaan kohti haluttua lopputulosta. Teoria perustuu käyttäytymistieteisiin; tiedetään ettei ihminen ole täysin rationaalinen olento, vaan toimintaamme vaikuttavat monet ulkoiset tekijät. Nudging-teoria on kohtuullisen helposti sovellettavissa myös asiakkaiden energiatehokkuuden edistämiseen verkkoyhtiössä kuluttajien asenteita ohjaamalla esimerkiksi neljän taulukossa 3.4 esitetyn nudging-mekanismien kautta. (Lehner et al., 2016)

Taulukko 3.4 Asumisen energiatehokkuuden nudge-mekanismeja (Lehner et al., 2016)

Nudge-mekanismi	Esimerkki sovellutuksia	Arvioitu tehokkuus
Informaation muotoilu ja yksinkertaistaminen	Palaute sähkönkulutuksesta: informatiivinen laskutus, mittaus ja näytöt	Pienet tutkimukset ~2% energiansäästö Laajemmat tutkimukset 1–20 % energiansäästö
Fyysisen ympäristön muuttaminen	Sähkölaitteiden suunnittelu Muistutukset/hälytykset sähkönkäytöstä: SMS, e-mail ja tarrat/kyllit	Vain vähän näyttöä; vaihtelee voimakkaasti ympäristön mukaan
Oletusarvon muuttaminen	Sähkölaitteiden oletusasetukset Sähkölaitteiden oletussuosituks Sähkönkulutuslaskurin arvojen asetelut	Pienet tutkimukset: 95–95% pysyi oletusarvossa Laajemmat tutkimukset jopa 20 % pysyi oletusarvossa
Sosiaalinen vertailupalaute	Sähkölaskussa sähkönkulutuksen vertaaminen vastaavan ryhmän keskiarvoon tai kärkipäähän	Pienet tutkimukset: ~ 14 % energiansäästö Laajemmat tutkimukset: ~2 % energiansäästö

Ensimmäinen Nudge-mekanismi perustuu esitettävän informaation muotoiluun ja yksinkertaistamiseen. Tutkimusten mukaan informaation muotoilulla on saavutettu suuremman meta-analyysin (Delmas et al., 2013) mukaan jopa 7 prosentin säästövaikutus. Verkkoyhtiössä informaation muotoilua voidaan hyödyntää esimerkiksi sähkönkulutusdatan esittämisessä tai energiatehokkuusviestinnässä asiakkaan suuntaan. Nudge-teorian mukaisesti sähkönkulutusdata ja energiatehokkuusviestintä pyritään esittämään sellaisessa muodossa, että se on helposti maallikon tulkittavissa ja mahdollisesti ohjaa energiansäästötoimenpiteisiin. Eleniassa informaation muotoilu -mekanismi on hyödynnettävissä esimerkiksi kotisivujen energiatehokkuusviestinnässä: tällä hetkellä energiasäästövinikit ovat hyvin yleisen tason neuvoja, jossa energiansäästön vaikutusta ei konkretisoida tai analysoida asiakkaan kiinnostusta herättävällä tavalla. Nudging-teorian kautta energiasäästövinikkien yhteydessä voitaisiin esittää esimerkiksi käytännön esimerkki, jossa olisi laskettu energia- ja rahamääräinen vuosittainen säästövaikutus. Edelleen tämänkaltaisen menettelytapa olisi hyödynnettävissä myös muussa viestinnässä ja palveluissa, kuten luvussa 3.2.4 esitellyssä Elenia AINA -palvelussa.

Toinen Nudge-teorian mekanismi pyrkii vaikuttamaan kuluttajan toimintatapoihin fyysistä ympäristöä muuttamalla. Verkkoyhtiön näkökulmasta asiakkaan fyysistä ympäristöä on muutettu esimerkiksi Yhdysvalloissa suosittujen energiatehokkuuskampanjoiden kautta. Kampanjoissa asiakkaiden fyysistä ympäristöä on muutettu esimerkiksi lähettämällä asiakkaille SMS muistutuksia energiatehokkuustoimista, kuten valojen sammutuksesta. Asiakkaille on myös tuotettu energiatehokkuuteen liittyvää materiaalia, kuten sähkölaitteiden yhteyteen kiinnitettäviä tarroja, joissa on muistutus laitteen päältä pois -kytkemisestä. Tutkimusten ja käytännön kokemusten mukaan asiakkaan fyysisen ympäristön muuttaminen voi olla tehokasta, mikäli sen yhteyteen on tuotettu myös muita energiansäästökeinoja. Konseptin varjopuolia ovat saavutetun energiansäästövaikutuksen nopea vaimeneminen sekä liian lähelle asiakasta tunkeutuva markkinointi. (Lehner et al., 2016)

Kolmas Nudge-teorian mekanismi on oletusarvon muuttaminen, joka perustuu esimerkiksi sähkölaitteiden ja web-sovelluksien oletusarvojen asetteluihin. Laitteiden ja sovelluksien oletusarvoja voidaan asettaa siten, että ne ohjaavat asiakasta energiansäästöön. Yksinkertainen käytännön esimerkki verkkoyhtiön liiketoiminnan ulkopuolelta on TV:n virransäästöasetuksen asettaminen ”default” –asetukseksi. Tällöin kuluttaja pitäytyy todennäköisemmin oletusarvoasetuksessa, eikä lähde muuttamaan tilaa enemmän energiaa kuluttavaksi. Tutkimuksissa tämänkaltaisella toiminnalla on havaittu, että jopa 20 prosenttia enemmän kuluttajia pitäytyi oletusarvovaihtoehdossa, kun se oli asetettu oletusarvoksi, eikä valintaa tarvinnut erikseen muuttaa. Verkkoyhtiön näkökulmasta oletusarvon muuttamiseen perustuva mekanismi on hyödynnettävissä helposti erityisesti webissä sekä erilaisissa sovelluksissa. Oletusarvoasettelua voidaan hyödyntää esimerkiksi useiden verkkoyhtiöiden tarjoamissa energiasäästölaskureissa, joissa voidaan laskea toteutunut energiansäästö tietyllä toimenpiteellä, kuten huonelämpötilan laskemisella. Tällaisessa

tilanteessa oletusarvoiseksi huonelämpötilaksi voidaan ehdottaa esimerkiksi poikkeuksellisen korkeaa lämpötilaa ja vastavuoroisesti huonelämpötilan tavoitearvoksi poikkeuksellisen matalaa lämpötilaa. Tällöin energiansäästölaskuria käyttävä kuluttaja laskee energiansäästön todennäköisemmin suuremmalla lämpötilan vaihtelulla, jolloin laskennallinen energiansäästö on huomattavan suuri ja kannustaa siten asiakasta laskemaan huonelämpötilaa. Tämänkaltaisen menettely on sovellettavissa esimerkiksi Elenian AINA – palvelussa sekä energiatehokkuusviestinnässä. (Lehner et al., 2016)

Neljäs Nudge-mekanismi hyödyntää sosiaalista vertailupalautetta asiakkaan energiatehokkuuden edistämiseksi. Tällöin tietyn asiakkaan sähkönkulutusprofiilia verrataan esimerkiksi muihin saman käyttäjäryhmän vastaaviin arvoihin sekä analysoidaan tulosta. Sähkönkuluttajan on mahdollista nähdä, miten hänen energiankäyttönsä suhteutuu muihin asiakkaisiin ja kannustaa asiakasta energiansäästöön, mikäli energiankäyttö on suurempaa kuin muilla saman käyttäjäryhmän asiakkailla. Tämän tyyppistä mekanismia hyödynnetään Eleniassa tällä hetkellä mm. Elenia AINA –palvelussa, joissa asiakkaan on mahdollisuus verrata omaa sähkönkulutustaan vertailuryhmän keskimääräiseen sähkönkulutukseen. Edelleen sosiaaliseen vertailupalautteeseen perustuvaa mekanismia voisi hyödyntää myös esimerkiksi laskutuksessa, asiakaspalvelussa ja viestinnässä. Laajempien kenttätutkimusten mukaan sosiaalisella vertailupalautteella saavutettava asiakkaiden energiansäästö on keskimäärin noin 2 prosentin luokkaa. Vertailupalautteen tehokkuutta laskevana tekijänä on, että vertailupalaute toimii myös negatiiviseen suuntaan: sähkönkäyttäjän kulutuksen ollessa matala, vertailupalautteen tieto voi johtaa sähkönkulutuksen kasvuun. (Lehner et al., 2016; Delmas et al., 2013)

Tässä luvussa esitelty Nudge-mekanismit ovat kätevästi hyödynnettävissä myös limittäin toisiaan täydentäen. Esimerkiksi oletusarvon ja sosiaalisen vertailupalautteen mekanismit ovat helposti sovellettavissa limittäin. Tällöin sosiaalisen vertailupalautteen sähkönkulutuksen vertailukäyrää voidaan käyttää esimerkiksi siten, että asiakkaan energiankulutusta verrataan vähiten energiaa kuluttavien asiakkaiden energiankäytön keskiarvoon. Vastavasti fyysisen ympäristön muuttamista voidaan soveltaa limittäin informaation muotoilun kanssa vaikkapa sähkönkulutusmittarin käytön kautta, jolloin kulutusmittari voitaisiin asentaa esimerkiksi helpommin luettavaan paikkaan tai asentaa erillisiä sähkönkulutuksen esitysnäyttöjä.

3.4.2 Tuntimittausdatan hyödyntäminen energiatehokkuuden edistämisessä

Tuntimittausjärjestelmää pidetään merkittävänä potentiaalisena keinona edistää sähkönkäyttäjien energiatehokkuutta EU:ssa. Tällä hetkellä Suomi on yksi Euroopan edelläkävijöistä useiden verkko- ja energiayhtiöiden tarjotessa asiakkailleen sähköisiä tuntimittausdataan pohjautuvia palveluita. Kuten luvussa 3.2.3 todettiin, verkkoyhtiöillä on velvoite antaa tuntimittautiedot asiakkaan käyttöön. Velvoite on pääsääntöisesti toteutettu

tarjoamalla asiakkaille pääsyä nettipohjaisiin online-palveluihin. Tällä hetkellä asiakkaiden kiinnostus tuntimittauspalveluihin on kuitenkin vielä vähäistä ja palvelut koetaan yleisesti hankaliksi käyttää. Kuluttajatutkimuskeskuksen toteuttaman tutkimuksen mukaan ainoastaan noin 10 prosenttia asiakkaista on kiinnostuneita seuraamaan sähkönkulutustaan tuntimittauspalveluista. Samassa tutkimuksessa havaittiin, että ainoastaan 16 prosenttia asiakkaista on käyttänyt mahdollisuutta seurata sähkönkäyttöään tuntimittauspalvelussa. Tutkimustulosten perusteella tuntimittauspalveluita tulisi kehittää huomattavasti asiakaslähtöisempään muotoon, joten tarkastellaan tässä luvussa keskeisiä palvelun kehitysehdotuksia asiakkaiden energiatehokkuuden edistämiseksi. (Rouhiainen & Heiskanen, 2015)

Yleisesti tuntimittauspalvelun suurimmaksi epäkohdaksi koetaan tuntimittausdatan esitystapa ja asiakkaan motivoiminen. Usealle asiakkaalle kWh-yksikkö ei ole ennestään kovin tuttu, minkä lisäksi tuntimittausdataa ei osata hyödyntää riittävän hyvin energiatehokkuustoimien selvittämiseksi. Palveluun kaivataan lisää ominaisuuksia, jotka mahdollistavat laitekohtaisen kulutuksen selvittämisen ja motivaation seurata omaa kulutusta. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi energiankulutuksen hintamääräinen esittämis-tapa, joka on myös Elenian AINA -palvelussa saatavilla. Lisäksi asiakkaiden motivaatiota voidaan tulevaisuudessa edistää huomattavasti tarkemman sähkönkulutusdatan kautta, kun omaa kulutusta on mahdollista seurata viiden minuutin mittausjaksoissa. Verkkoyhtiön mitatessa ainoastaan käyttöpaikkakohtaista sähkönkulutusta, mahdollisuutta mitata laitekohtaista sähkönkulutusta olisi syytä selvittää. Tuntimittauspalvelun oheen voisi kehittää tarkempaa ohjeistusta tai tukipalveluita laitekohtaisen kulutuksen analysointiin. Tällainen palvelu voisi olla esimerkiksi SähköTohtori –tyyppinen arvioihin perustuva energiankäytön laskuri. (Rouhiainen & Heiskanen, 2015)

Tuntimittauspalveluiden teknisten ominaisuuksien osalta asiakkaat ovat toivoneet käytön helppoutta, viihdyttävyyttä ja vuorovaikutuksen lisäämistä. (Rouhiainen & Heiskanen, 2015) Eleniassa käytön helppoutta on edistetty mm. AINA -mobiiliapplikaatiolla ja sisäänkirjautumisen helpottamisen kautta, kun palveluun voi kirjautua asiakasnumeron sijaan omilla tunnuksilla. Lisäksi mobiiliapplikaatiossa asiakkaalla on mahdollisuus pysyä palveluun sisäänkirjautuneena jatkuva-aikaisesti. Helppokäyttöisyyttä voidaan edistää merkittävästi myös palvelun esitystavalla, kun lukujen sijaan esitetään graafeja ja panostetaan havainnollistavaan esitystapaan. Edelleen sähkönkulutusdatan analysointiin ja syyseuraussuhteeseen kaivataan lisää selkeyttä: applikaatiossa voisi yksinkertaisen automaatiikan kautta demonstroida asiakkaan henkilökohtaisen sähkönkäytön vaikutuksia esimerkiksi hiilijalanjälkeen tai kustannussäästöön. Tällä hetkellä Elenian AINA -palvelussa ei ole varsinaisia sähkönkäyttöä analysoivia ominaisuuksia.

Asiakkaat ovat toivoneet tuntimittauspalveluilta myös viihteellisyyttä, sillä pelkkä energia mielletään yleisellä tasolla melko vähän kiinnostavaksi tuotteeksi. Asiakaspalautteen perusteella tuntimittauspalvelua tulisi kehittää erityisesti pelillistämisen näkökulmasta, jolloin myös nuorempi sukupolvi saataisiin innostumaan palvelun käytöstä. Pelillisyyttä

voitaisiin kehittää esimerkiksi mahdollisuudella kilpailla omia tavoitteita ja muita sähkökäyttäjiä tai erilaisia palkintoja vastaan. Käyttöliittymän viihteellisyyttä voisi kehittää myös esimerkiksi osallistavan tai pelillistetyn käyttöliittymäopastuksen kautta. Vastaa- vasti proaktiivista lähestymistapaa voitaisiin edistää tehokkaasti henkilökohtaisen viestinnän kautta. Yleisesti verkkoyhtiön asiakkaat ovat toivoneet tuntimittauspalvelulta hälytysominaisuutta, jolloin palvelu hälyttäisi asiakkaalle esimerkiksi tietyn energiankäytön tason ylittyessä. Tämän kaltainen ominaisuus on Eleniassa jo suunnitteluasteella ja on paremmin hyödynnettävissä viiden minuutin mittausjaksoihin siirryttäessä, kun sähkönkulutuksen mittaus tapahtuu lähes reaaliajassa. (Rouhiainen & Heiskanen, 2015)

3.5 Asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisen potentiaali- set palvelut

Tutkimuksessa (Matschoss et al., 2014) energiatehokkuuspalvelu (EES) määritellään palveluna, joka pienentää asiakkaiden energiankulutusta tukien tai tuottaen samalla palveluntarjoajansa liiketoimintaa. Verkkoyhtiön näkökulmasta energiatehokkuuspalvelu voidaan nähdä sellaisena palveluna, jonka lisätuotto kompensoi sähkönkulutuksen vähene- misestä seuraavaa liikevoiton pienenemistä tai tuottaa muuten huomattavaa lisäarvoa asiakassuhteeseen. Toisaalta energiatehokkuuspalvelut voivat olla myös palveluita verk- koyhtiön lakisääteisten velvoitteiden täyttämiseksi. Tällaisia palveluita ovat esimerkiksi verkkoyhtiöiden yleisesti tarjoamat sähkönkulutuksen mittauspalvelut.

Suomessa energiatehokkuuspalveluita tarjoavat yritykset eli energiapalveluyritykset (ESCO) ovat tyypillisesti pieniä tai keskisuuria palveluntarjoajia, jotka markkinoivat pal- veluitansa itsenäisesti. Muun muassa tutkimuksissa (Labanca et al., 2015; Boza-Kiss et al., 2017) edellä esitetyn kaltainen malli todetaan tehottomaksi verrattuna tilanteeseen, jossa EES-markkinointi toteutetaan keskitetysti esimerkiksi verkkoyhtiön toimesta. Lu- vuissa 3.5.1 ja 3.5.2 selvitetään toimivien EES-markkinoiden ominaispiirteitä sekä po- tentiaalisia tuotteita ja palveluita. Luvussa 3.5.3 pohditaan energiatehokkuuspalveluiden toteuttamisen keskeisimpiä haasteita suomalaisen verkkoyhtiön liiketoiminnan näkökul- masta.

3.5.1 Energiatehokkuuspalveluiden markkinat Euroopassa

Energiatehokkuuspalvelut (EES) ovat merkittävä markkinapotentiaali EU:n tasolla. Kon- servatiivisen arvion mukaan Euroopan maissa on olemassa jopa 180 M€ suuruinen vuo- tuinen lisämarkkinapotentiaali jo olemassa olevien EES markkinoiden lisäksi, kun takai- sinmaksuaika on 3 vuotta. Toisaalta lunastamatonta vuotuista lisämarkkinapotentiaalia on arvioitu olevan jopa 1640 M€ edestä, jos takaisinmaksuajaksi asetetaan 8 vuotta. Ta- kaisinmaksuaikojen arvioissa on käytetty 0 prosentin suuruista laskentakorkokantaa. Suu- rin EES markkinapotentiaali EU:n tasolla muodostuu lämmitystekniikoista, kuten ener- giatehokkaiden pattereiden ja eristystekniikoiden asentamisesta. Tällä hetkellä EES

markkinoiden kehittymistä jarruttavat erityisesti poliittiset toimet sekä EU:n että kansallisella tasolla. Toisaalta ChangeBest-projektissa tutkittiin ESS markkinoiden kehittymistä 18 EU-maassa ja positiivisia markkinasignaaleita saatiin esimerkiksi Saksasta, Tanskasta, Ranskasta ja Flandersista (BE). (Labanca et al., 2015)

EU:n tasolla on hyvin harvinaista, että sähkönmyyjät tai -jakelijat tarjoavat asiakkailleen EES-palveluita puhtaasti taloudellisen kannattavuuden takia. Usein palvelujen tuottamisen intresseihin vaikuttavat voimakkaasti erilaiset valtion tai muun toimivallan myöntämät kannustimet ja tuet, jotka mahdollistavat liiketoiminta-alueen kannattavuuden. EU-maissa (Saksa, Ranska, Tanska, Belgia), joissa EES markkinat ovat kehittyneellä tasolla, EES palvelutarjontaa ohjataan ratkaisevasti kansallisen energiatehokkuuspolitiikan ja -toiminnan kautta. Tällöin energia-alan yrityksiä kannustetaan panostamaan EES tarjontaan esimerkiksi erilaisin verohelpotuksin ja tukipalkkioiden kautta. Toisaalta yrityksiä ohjataan panostamaan asiakkaiden energiatehokkuuteen myös velvoitteiden, kuten energiatehokkuusobligatioiden kautta. (Heiskanen et al.) mukaan on hyvin epätodennäköistä, että EES-palveluiden tarjoaminen jatkuisi näissä EU-maissa samanlaisena ilman politiikan ohjauskeinoja puhtaasti kaupallisesta näkökulmasta. (Labanca et al., 2015)

ChangeBest-projektin (Boza-Kiss et al., 2017) johtopäätöksissä todetaan, että yksittäisten energiapalveluyritysten (ESCO) tarjoamat EES markkinat ovat vähemmän kehittyneemmät ja tehottomammat kuin energiayhtiöiden (sähkönmyyjät ja verkkoyhtiöt) tuottamat EES markkinat. Tutkimuksessa havaittiin selkeä yhteys kehittyneiden EES markkinoiden ja energia-alan yritysten toiminnan välille, kun markkinoiltaan kehittyneissä maissa asiakkaiden energiatehokkuutta edistettiin pääsääntöisesti energiayhtiöiden toimesta. Näissä maissa verkkoyhtiöt ja/tai sähkönmyyjät muodostivat EES markkinoille keskitetyn markkinapaikan, kun taas palveluntarjonta ja ammattiosaaminen olivat edelleen ESCO-toimijoiden hallinnoimia. EES markkinoiltaan toimivien maiden esimerkit osoittavat, että EES markkinoita kannattaisi lähteä keskittämään energia-alan suurille toimijoille. Olemassa olevan markkinapotentiaalin hyödyntäminen edellyttää Suomessa ja EU-tasolla kuitenkin politiikan keinoja ja ohjausmenetelmiä. ESCO markkinoiden kehittymistä estäviä tekijöitä on tutkittu Euroopassa mm. tutkimuksessa ”*Analysis of barriers and drivers for the development of ESCO markets in Europe*”. (Bertoldi, 2017) Tutkimuksessa esitetään toimivien ESCO markkinoiden ominaispiirteet sekä annetaan kehitysehdotuksia toimivien markkinoiden muodostamiseksi.

Suomessa verkkoyhtiön tämänhetkistä energiatehokkuuspolitiikkaa ohjataan pääasiassa luvussa 2 esitetyn energiatehokkuussopimustoiminnan kautta. Vapaamuotoisena energiatehokkuuspolitiikan ohjauskeinona energiatehokkuussopimukset mahdollistavat kohtuullisen epäbyrokraattisen energiatehokkuuden edistämisen, mutta sisältävät myös joitakin varjopuolia: taloudellisten kannusteiden ja velvoitteiden puuttuessa nykyinen toimintamalli ei kannusta esimerkiksi asiakkaiden energiatehokkuuspalveluiden kehittämiseen. Lisäksi verkkoyhtiöille ei ole nykyisessä energiatehokkuuslainsäädännössä (Energiatehokkuuslaki 1429, 2014) asetettu energiatehokkuutta edistäviä velvoitteita asiakkaiden

energiatehokkuuden edistämiseksi, mikä osaltaan hidastaa EES-palveluiden kehittämistä ja kaupallistamista verkkoyhtiössä.

3.5.2 Energiatehokkuuspalveluiden potentiaaliset tuotteet ja palvelut

Energiatehokkuuspalveluiden potentiaalisia tuotteita ja palveluja on selvitetty asiakaskyselytutkimuksessa sekä useiden kenttäkokeiden avulla kuudessatoista EU-maassa. Muun muassa tutkimuksessa *”Consumers as innovators in the electricity sector? Consumer perceptions on smart grid services.”* (Heiskanen & Matschoss, 2016) selvitettiin verkko- ja energiayhtiöiden asiakkaiden kiinnostusta älykkäisiin energiapalveluihin. (taulukko 3.5)

Taulukko 3.5 Asiakkaiden kiinnostuksen jakautuminen energiatehokkuuspalveluiden suhteen (Heiskanen & Matschoss, 2016)

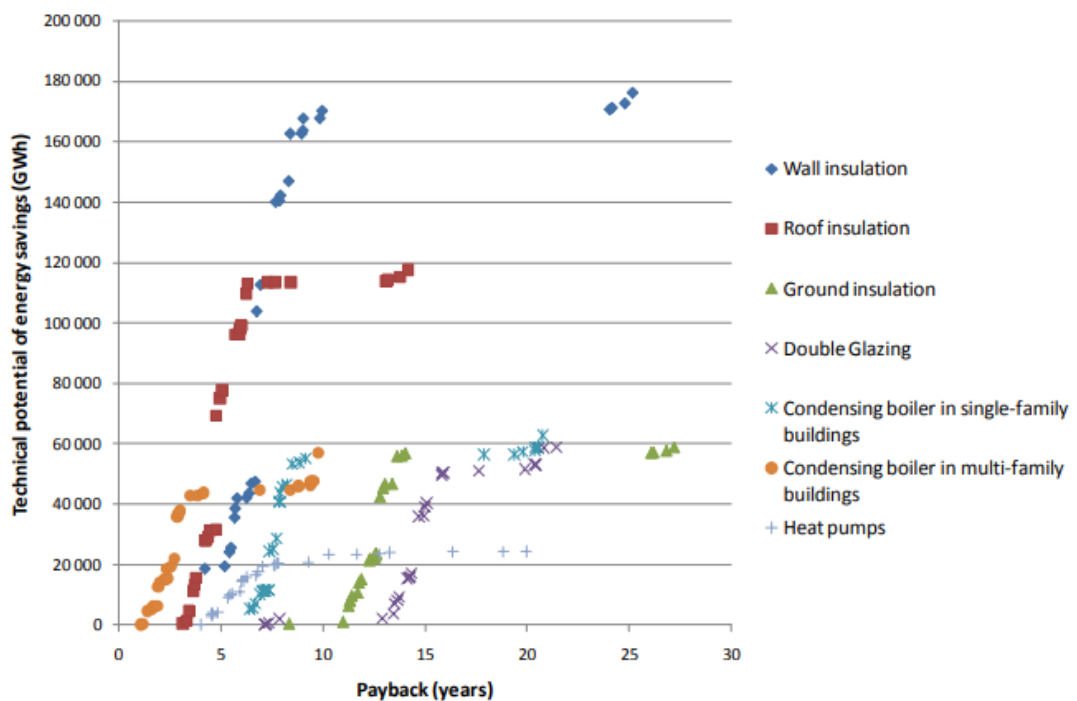
	On jo ostanut palvelun	Harkitsee palvelun ostamista	On kiinnostunut palvelusta	Ei ole kiinnostunut palvelusta	Ei ole kiinnostunut palvelusta missään olosuhteissa
Energiankulutusnäyttö	8,1	17,4	38	33,1	3,3
Sähkölaitteiden ohjaus- automatiikka	8,1	16,2	36,6	34,9	4,2
Matalaenergialaitteiden asennuspalvelu (LED, lämpöpumput)	16,2	22,1	29,7	28,8	3,3
Mikrotuotanto (aurinko ja tuuli)	2,3	19,9	28,5	39,1	10,2

Taulukossa 3.5 on esitetty asiakaskyselytutkimuksen avulla selvitettyjä potentiaalisia ja asiakkaiden kiinnostusta herättäviä älykkäitä energiapalveluita. Kyselytutkimus toteutettiin siten, että määritetyiltä edelläkävijäasiakkailta kysyttiin kiinnostusta taulukossa esitettyihin älykkäisiin energiapalveluihin. Tämän jälkeen vastauksien tulokset suhteutettiin potentiaalisen diffuusiokäyrän kautta vastaamaan massamarkkinoiden kiinnostusta kyseisiin palveluihin. Taulukosta huomataan, että asiakkaat ovat eniten kiinnostuneita matalaenergialaitteista ja -asennuspalveluista, sillä 16,3 prosenttia asiakkaista on jo ostanut palvelun ennestään ja ainoastaan 3,3 prosenttia vastaajista on palvelua vastaan. Energiankulutusnäytöt edistävät verkkoyhtiöiden asiakkaiden energiatehokkuutta tarjoamalla verkkoyhtiön asiakkaille informaatiota sähkönkulutuksesta ja ohjaamalla sitä kautta kulutustottumuksia energiatehokkaampaan sähkönkäyttöön. Energiankulutusnäytöt ja erilaiset sähkönkulutuksen säätölaitteet muodostivat kyselyssä neutraalin mielipiteen.

Mikrotuotanto edistää energiatehokkuutta pienentämällä sähkönsiirron tarvetta jakeluverkossa, kun paikallisesti tuotettu energia voidaan syöttää lähes välittömästi asiakkaan

sähkönkäytön tarpeeseen. Energiatehokkuuspalvelut koskien mikrotuotantoa, kuten aurinkopaneelien asennusta ja energia-auditointeja koettiin vähiten mielenkiintoisiksi palveluiksi. Mikrotuotannon epäsuosiota selittää pääasiassa tekniikan hinta ja koettu monimutkaisuus. (Balcombe et al., 2013) Energia-auditointien epäsuosiota selittää se, että monelle kyselyn asiakkaalle oli jo tarjottu aikaisemmin vastaavaa palvelua ilmaiseksi. Lisäksi jotkin asiakkaat kokevat energia-auditoinnit velvoittaviksi, sillä palvelussa maksetaan energiatehokkuuspuutteiden tunnistamisesta eikä varsinaisesta korjaustoimenpiteestä.

(Labanca et al., 2015) analysoivat tutkimuksessaan potentiaalisimpia energia-alan toimijoiden markkinoimia EES tuotteita ja palveluita EU:n kotitalouksien energiatehokkuuden osalta. Heidän mukaansa potentiaalisimmat ja takaisinmaksuajaltaan kustannustehokkaimmat EES:t kotitaloussektorilla koostuvat lämmitystekniikoista sekä niihin liittyvistä palveluista. Täten analyysin ulkopuolelle on jätetty kotitalouslaitteet, elektroniikkalaitteet, valaistustekniikat ja suuret kodinkoneet. Kuvassa 3.4 on esitetty teknistaloudellisen analyysin kautta määritetyt kumulatiiviset lisäenergiansäästöpotentiaalit kotitalouksien potentiaalisille energiatehokkuustoimille keskimääräisen takaisinmaksuajan funktiona EU-alueella.



Kuva 3.4 Energiatehokkuustuotteiden ja -palveluiden kumulatiivinen tekninen energiansäästöpotentiaali vs. keskimääräinen takaisinmaksuaika EU-alueella. (Labanca et al., 2015)

Kuvaajaa luetaan siten, että y-akselilla on kunkin energiatehokkuustoimen kumulatiivinen tekninen energiansäästöpotentiaali GWh -yksikössä EU-alueella ja x-akselilta luetaan ko. toimenpiteen keskimääräinen takaisinmaksuaika. Kuvaajasta huomataan, että EU-maissa suurin energiansäästöpotentiaali muodostuu katto- ja seinäeristystekniikoista, joiden keskimääräinen takaisinmaksuaika on noin 3-8 vuotta. Suomessa lämmöneristystekniikat ovat hyödynnettävissä pääasiallisesti uudisrakentamisen tapauksessa, kun uusi rakennusten energiatehokkuusdirektiivi velvoittaa aiempaa uuden rakennusten energiatehokkuusdirektiivin myötä. Toisaalta myös vanhojen rakennusten lämmöneristystä voidaan edistää kustannustehokkaasti etsimällä lämpövuotokohtia infrapunakuvausten avulla ja valitsemalla saneerauskohteet tämän perusteella. Tutkimuksessa todetaan, että lämpöeristystekniikat ovat kustannustehokkaimpia Keski-Euroopan maissa, joissa nykyiset lämpöeristystekniikat eivät ole vielä nykypäivän tasolla. Lämmöneristysten ohella myös ilmalämpöpumppujen ja lämminvesivaraajien uusiminen ovat takaisinmaksuajaltaan lyhyitä, mutta suhteellisesti saavutettava energiansäästöpotentiaali on pienempi.

Muissa EU-maissa edellä esitettyjä energiatehokkuustoimia on edistetty yleisesti verkkoyhtiöiden sekä sähkönmyyjien kautta. Saksassa eräs verkkoyhtiö on edistänyt asiakkaidensa energiatehokkuutta uusimalla vanhoja lämminvesivaraajia energiatehokkaimmaksi palvelusopimuskäytännön kautta. Uusien lämminvesivaraajien kautta saatava energiansäästö perustuu lämmönsäädön automatiikkaan, jonka energiansäästöpotentiaali on arvioitu verraten suureksi myös Suomessa. (Koreneff et al., 2014) Saksan tapaan slovakialainen energia-alan toimija on edistänyt asiakkaidensa energiatehokkuutta uusimalla yksittäisiä lämminvesivaraajien osia energiatehokkaimmaksi, jolloin energiansäästöä saavutetaan verraten pienin investointikustannuksin. Yksittäisten energiatehokkuustoimien sijaan mm. tanskalainen verkkoyhtiö on edistänyt asiakkaidensa energiatehokkuutta erilaisten EES-kampanjoiden kautta. Kampanjoissa asiakkaiden energiatehokkuutta on edistetty mm. selvittämällä lämpöhäviöiden vuotoja infrapunakuvausten kautta, mini-energia-auditointien kautta sekä LED-valaistuspalveluilla. Ensimmäisen kampanjan myötä saavutettu vuotuinen asiakaskohtainen energiansäästö oli noin 650 kWh/a. (Labanca et al., 2015) Vastaavanlainen kampanja täytyisi toteuttaa Elenian liiketoiminnan piirissä noin 5 prosentille kotitalousasiakkaista energiatehokkuussopimuksen 13,2 GWh energiansäästötavoitteen täyttämiseksi.

Asiakaskyselyiden johtopäätöksissä todetaan, että asiakkaiden kiinnostus energiatehokkuuspalveluista riippuu hyvin pitkälti rahamääräisistä säästöistä. Tämä näkökulma tulisi ottaa myös EES-palveluiden markkinoinnissa huomioon, jotta asiakkaiden mielenkiinto palveluihin saataisiin herätettyä. Asiakkaiden innostusta voitaisiin edistää mm. palvelusopimusten kautta, jolloin ostettava palvelu olisi asiakkaan näkökulmasta käytännössä maksuton, kun energia-alan toimija rahoittaisi investoinnin pitkälti energiansäästön kautta. Tämän kaltaisten palvelujen tarjoaminen edellyttäisi kuitenkin myös poliittisia ohjauskeinoja, jotta palveluiden tarjoamiseen saataisiin riittävät taloudelliset kannusteet mm. takaamalla riittävän pienen korkotason rahoitus. Toisaalta palveluiden tulisi olla

myös riittävän yksinkertaisia ja läpinäkyviä asiakkaille. Läpinäkyvyys asiakkaan suuntaan voidaan mahdollistaa mm. takaamalla asiakkaalle tietty rahallinen säästö ja viestimällä asiakkaan suuntaan verkkoyhtiöin tarkoituksellisesti energiatehokkuuspalvelujen taustalla. (Matschoss et al., 2014)

3.5.3 Energiatehokkuuspalveluiden tuottamisen keskeiset haasteet verkkoyhtiössä

Energiatehokkuuspalvelut ovat potentiaalinen keino edistää asiakkaiden energiatehokkuutta. Luvussa 3.5.1 todettiin, että EES toiminnalla on saatu verraten hyviä tuloksia aikaan mm. Saksan, Tanskan, Ranskan ja Belgian (Flanders) verkko- ja sähkönmyyjäyhtiöissä. Suomessa toimintaa voitaisiin edistää ottamalla oppia energiatehokkuuspalveluitaan toimivien maiden käytännöistä ja ohjaamalla kansallista energiatehokkuuspolitiikka samaan suuntaan. Nykyisessä lainsäädännössä veloitetaan sähkönmyyjäyhtiöitä tarjoamaan asiakkailleen tietoa energiatehokkuutta edistävästä palveluista, eikä laissa ole vastaavaa veloitetta verkkoyhtiöiden osalta. (Energiatehokkuuslaki 1429, 2014) Toisaalta energiatehokkuussopimustoiminnassa verkkoyhtiöiltä veloitetaan asiakkaiden energiatehokkuuden edistämistä luvussa 3.2 esitettyjen viestinnällisten toimenpiteiden kautta. Täten verkkoyhtiön asiakkaiden energiatehokkuuden edistäminen rajautuu nykytilanteessa lähinnä viestinnällisiin toimenpiteisiin sekä sähkön tuntimittauspalvelun järjestämiseen, kun varsinaiselle EES toiminnalle ei ole laissa sitovia veloituksia tai riittäviä taloudellisia ajureita.

Nykyisen lainsäädännön ja Energiaviraston verkkoyhtiöille asettaman regulaatiomallin perusteella sähkönkäyttäjien energiatehokkuuden edistämisen ensisijainen vastuu voidaan nähdä sähkönmyyjäyhtiöillä. Mikäli asiakkaiden energiatehokkuustoimintaa haluttaisiin merkittävästi edistää verkkoyhtiön liiketoiminnan kautta, olisi lainsäädäntöön lisättävä velvoite myös verkkoyhtiöiden tuottamien energiapalvelujen osalta. Vaihtoehtoisesti verkkoyhtiön asiakkaiden energiatehokkuuden edistämiseen voitaisiin kannustaa lisäämällä energiaviraston regulaatiomalliin kannustimia energiatehokkuuspalvelujen kehittämiseksi. Tällä hetkellä verkkoyhtiöissä pääasiallisesti käytössä olevat viestinnälliset energiatehokkuustoimet asiakkaiden energiatehokkuuden edistämiseksi ovat erilaisiin energiapalveluihin nähden halpoja ja kustannustehokkaita toteuttaa.

Asiakkaiden energiatehokkuuden edistäminen on myös ristiriidassa verkkoyhtiöissä käytössä olevan tariffirakenteen näkökulmasta. Nykyisen sähkönsiirtotariffin pohjautuessa pääasiassa asiakkaan energiankulutuksen suuruuteen, on asiakkaan energiatehokkuuden edistäminen liiketaloudellisesta näkökulmasta tappiollista. Kuten luvussa 3.2 todettiin, pelkästään lämpöpumppujen, valaistuksen ja lämpöeristyksen kautta saatava energiansäästö heikentäisi verkkoyhtiöiden keskimääräistä liikevoittoa noin -9 prosenttia vuoteen 2050 mennessä nykyisellä tariffirakenteella. Täten asiakkaiden energiatehokkuuden edis-

täminen edellyttää verkkoyhtiöissä myös tariffirakenteen päivittämistä. Eleniassa teho- pohjaiseen tarffiin siirtymistä on tutkittu diplomityössä ”Tehotariffi kannustimena sähköverkkoyhtiön tehonkäytön ohjauksessa”. (Koski, 2017)

Verkkoyhtiön asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisen perustuessa pääasiassa vapaaehtoiseen toimintaan brändi- ja imagosyistä energiatehokkuussopimustoiminnan rooli korostuu asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisessä. Tällöin energiatehokkuussopimusten raportointia tulisi kehittää siten, että se kannustaisi verkkoyhtiöitä panostamaan asiakkaiden energiatehokkuuteen sekä raportoimaan energiatehokkuustoimista. Nykyisellään asiakkaiden energiatehokkuuden edistäminen voidaan nähdä toissijaisena toimintona, kun ainoastaan oman energiankäytön tehostamisesta voidaan raportoida energiamääräisiä sopimustavoitteen kattavia energiasäästöjä. Kehitysehdotuksia asiakkaille suunnattujen energiatehokkuustoimien vaikutusten arviointiin esitellään luvussa 3.6.

3.6 Kehitysehdotus asiakkaille suunnattujen energiatehokkuustoimien vaikutusten arvioinnista ja raportoisesta

Nykyinen energiatehokkuussopimusjärjestelmä ei kannusta verkkoyhtiöitä kehittämään ja raportoimaan asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisestä, sillä asiakkaille kohdistetuista energiatehokkuustoimista ei ole mahdollista raportoida energiamääräistä säästöä. Tämän vuoksi energiatehokkuusraportointia tulisi kehittää sellaiseen suuntaan, että se kannustaisi raportoimaan myös asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisestä ja tätä kautta kehittämään asiakkaille suunnattuja palveluita. Yksi keino kannustaa verkkoyhtiöitä asiakkaiden energiatehokkuuden edistämiseen ja raportoimiseen olisi kehittää kvantifointimenetelmiä viestinnällisten energiatehokkuustoimien energiasäästö määrän arvioimiseksi. Energiatellisuuden tilaamassa tutkimuksessa (Suvilehto et al., 2012) on pyritty kehittämään arviointimenetelmiä tyypillisten viestinnällisten energiatehokkuustoimien energiasäästövaikutuksen arvioimiseen. Taulukossa 3.6 on esitetty esimerkki pehmeiden viestinnällisten energiatehokkuustoimien kvantifoinnista energiamääräisiksi suureiksi. Taulukossa käytetyt lukuarvot ja eri toimenpiteiden energiasäästövaikutuksen arviot perustuvat tutkimuksen (Suvilehto et al., 2012) esimerkkilaskelmaan.

Taulukko 3.6 Esimerkki pehmeiden energiatehokkuustoimien kvantifiointista. (Suvilehto et al., 2012)

Energiatehokkuustoimi	Kvantifioinnin peruste	Lukumäärä	Volyymi, GWh	Vaikutusalue	Säästöarvio, alempi, GWh	Säästöarvio ylempi, GWh
Energiansäästöneuvonta web-sivuilla	Koko asiakaskunta	Yhdistetty luokka	20000	0 – 0,5 %	0	100
Energiansäästöartikkelit asiakaslehdissä	Koko asiakaskunta					
Energiansäästöviikko	Vaihtelee					
Asiakkaille painettu materiaali	Materiaalin määrä					
Neuvonta puhelimessa	Asiakkaiden lukumäärä	90000	630	1 - 2%	6	13
Neuvonta kasvokkain	Asiakkaiden lukumäärä	62000	434	1,5 - 2,5 %	7	11
Neuvonta sähköpostitse tai internetissä	Asiakkaiden lukumäärä	32000	224	0 - 0,75 %	0	2
Energiamittareiden lainaus	Asiakkaiden lukumäärä	10000	70	3 - 7 %	2	5
Vuotuinen kulutuspalaute	Asiakkaiden lukumäärä	1500000	10500	0,75 - 1 %	79	105
Sähkönkulutuksen internetpalvelu	Asiakkaiden lukumäärä	700000	4900	0,5 - 2 %	25	98
Mittarin etäluenta käytössä	Asiakkaiden lukumäärä	400000	2800	Mahdollistaa tiheimmän laskutustiheyden; ei arvioida erikseen		
Laskutustiheys	Asiakkaiden lukumäärä	200000	1400	0-0,5%	0	7
Yhteensä					118	340

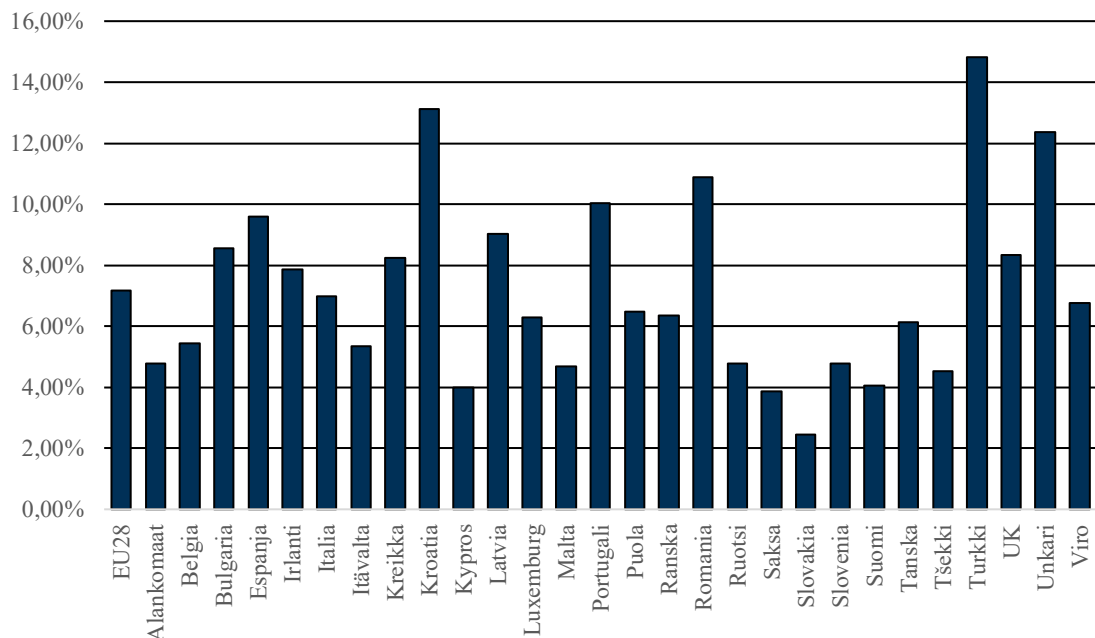
Taulukon eri energiatehokkuustoimien vaikutusalueen arvioinnin suuruuden määrittämisen perusteena on käytetty saatavilla olevaa tutkimusdataa eri viestintäkeinojen vaikutuksesta asiakkaan energiatehokkuuden edistymiseen. Kaikkien energiatehokkuustoimien osalta tutkimusdataa ei ole saatavilla, jolloin arvioinnin perusteena on käytetty valistunutta arviota. Taulukossa 3.6 on esitettynä punaisella ne energiatehokkuustoimet, joiden vaikutusalueen määrittäminen perustuu arvioihin. Vastaavasti joidenkin energiatehokkuustoimien perusteella tutkimusdata osoittaa vaikutusalueen pieneksi tai mitättömäksi, jolloin vaikutusalueeksi on päätetty valistuneen arvion kautta 0 – 0,5 tai 0 – 0,75 prosenttia. Vaikutusalueeltaan pienet energiatehokkuustoimet on korostettu sinisellä. Volyymin

(GWh) suuruus on laskettu kertomalla kvantifioinnin perusteena oleva lukumäärä kotitalouden keskimääräisellä (7000 kWh/a) vuotuisella kulutuksella. Taulukosta huomataan myös, että vuotuisesta kulutuspalautteesta on säädetty EU-lainsäädännössä, jolloin ko. energiatehokkuustoimea ei voida käyttää energiansäästötavoitteen arvioinnissa. Toisaalta myös muiden energiatehokkuustoimien osalta tämän kaltainen arviointimenetelmä on hieman tulkinnanvarainen, sillä esimerkiksi sähkönkulutuksen internet-palvelu on monessa verkkoyhtiössä tapa toteuttaa sähkönkulutuksen palautteen antamisesta säädettyä lakia. (Suvilehto et al., 2012)

Taulukossa 3.6 esitetyn esimerkin kaltaista arviointimenetelmää voitaisiin soveltaa verkkoyhtiöiden osalta asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisen raportoinnissa, jolloin verkkoyhtiö voisi raportoida myös ”pehmeistä toimenpiteistä” energiamääräistä säästöä. Nykyisin erityisesti internetissä ja sähköisesti tehtävän mainonnan asiakaskäyttöä on kohtalaisen helppo seurata erilaisten analytiikkatyökalujen kautta, jolloin pehmeiden energiatehokkuustoimien vaikutuksen arviointi helpottuu. Raportoinnin kannalta suurempia haasteita asettavat esimerkiksi puhelimitse tai kasvokkain tehtävä neuvonta, joiden laajuutta ei ole mahdollista nykyisillä analytiikkatyökaluilla seurata. Kuten luvussa 3.2 todettiin, tämän hetken merkittävimmät energiatehokkuuspalvelut keskittyvät verkkoyhtiöiden osalta viestinnällisiin ”pehmeisiin” toimenpiteisiin. Suomessa, toisin kuin monessa muussa Euroopan maassa, verkkoyhtiöt eivät tarjoa nykyisin liiketoiminnassaan yleisesti luvussa 3.5 esitettyjä ”kovia energiatehokkuuspalveluita”, jolloin viestinnän rooli asiakkaiden energiatehokkuuden edistämisessä korostuu entisestään. Myös Energiatehokkuus Suomessa -kysely osoittaa, että asiakkaat näkevät verkkoyhtiön kaikista parhaimpana markkinapaikkana ”pehmeiden” energiatehokkuuspalveluiden tarjonnalle. (Matschoss et al., 2014)

4. ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN JAKELUVERKOSSA

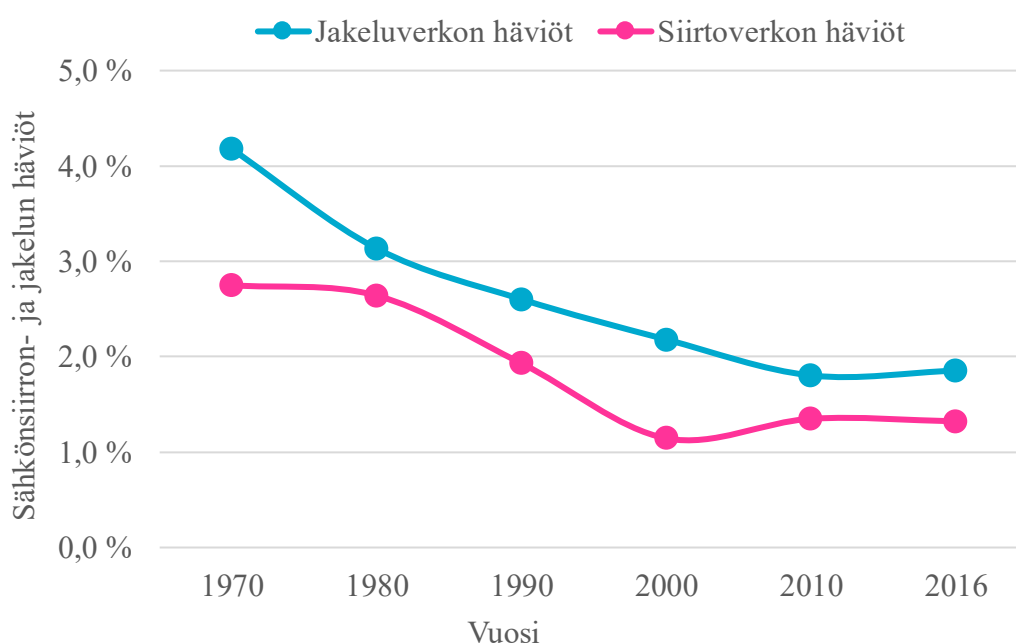
Suomen sähköjakelun ja siirron energiatehokkuus on Euroopan kärkitasoa jakelu- ja siirtoverkon yhteenlaskettujen häviöiden suuruuden ollessa vain 3–4 prosenttia lähteestä riippuen (Honkapuro et al., 2015; OECD/IEA, 2014). Muissa Euroopan jäsenmaissa vastaava häviöiden mediaani on likimain 6,5 prosenttia (kuva 4.1), mikä vastaa käytännössä Suomen sähköverkon 1980-luvun raportoituja häviötasoja. Kansainvälisen energijärjestön IEA:n selvittämät EU28-maiden sähkönsiirron ja -jakelun suhteelliset energiahäviöt vuodelta 2014 on esitetty kuvassa 4.1.



Kuva 4.1 EU-28 jäsenmaiden sähkönsiirron ja -jakelun häviöt vuonna 2014. Perustuu lähteeseen (OECD/IEA, 2014).

Kuten kuvasta 4.1 huomataan, sähköjakelun ja siirron suhteelliset energiahäviöt vaihtelevat paljon eri maiden välillä. Pienimmät sähköjakelun ja siirron häviöt on raportoitu EU-tasolla Slovakiassa, jossa häviöt olivat vuonna 2014 vain hieman yli 2 prosenttia. Vastaavien häviöiden suuruus oli Turkissa vertailuvuonna lähes 15 prosenttia, mikä on EU28-maiden suurin. Suomessa sähköjakelu- ja siirtoverkon häviöt olivat vertailuvuonna 28 jäsenmaan neljänneksi pienimmät. Ainoastaan Slovakiassa, Kyproksella ja Saksassa sähköverkon energiahäviöt olivat vuonna 2014 Suomen tasoa alemmat. Energiahäviöiden määrissä ei ole otettu huomioon maakohtaisia tekijöitä, kuten esimerkiksi siirtoetäisyyksien vaikutusta häviöiden suuruuteen.

Jakeluverkon energiahäviöiden muodostaessa lähes kaksi kolmasosaa sähköverkon kokonaishäviöistä korostuu jakeluverkon merkitys koko järjestelmän energiatehokkuuden kannalta. Myös suurin osa sähkönkulutuksesta, pientuotannosta ja kysyntäjoustosta kytkeytyy jakeluverkkoon, jolloin asiakkaiden energiatehokkuuden parantaminen kohdistuu pääasiassa jakeluverkon tasolle. Toisaalta asiakkaan maksamasta sähkön loppuhinnasta jakeluverkon kustannukset muodostavat lähes kolmanneksen, mikä painottaa verkkoyhtiöiden vastuuta energiatehokkuuden edistämisessä. Lisäksi energiatehokkuuden parantaminen jakeluverkon tasolla on verraten kustannustehokasta, sillä Suomen sota-ajan jälkeen rakennettu sähkönjakelujärjestelmä tulee hiljalleen käyttöikänsä päähän. (Honkarpuro et al., 2015) Kuvassa 4.2 on havainnollistettu Suomen jakelu- ja siirtoverkon energiahäviöiden kehittymistä vuosina 1970–2016.



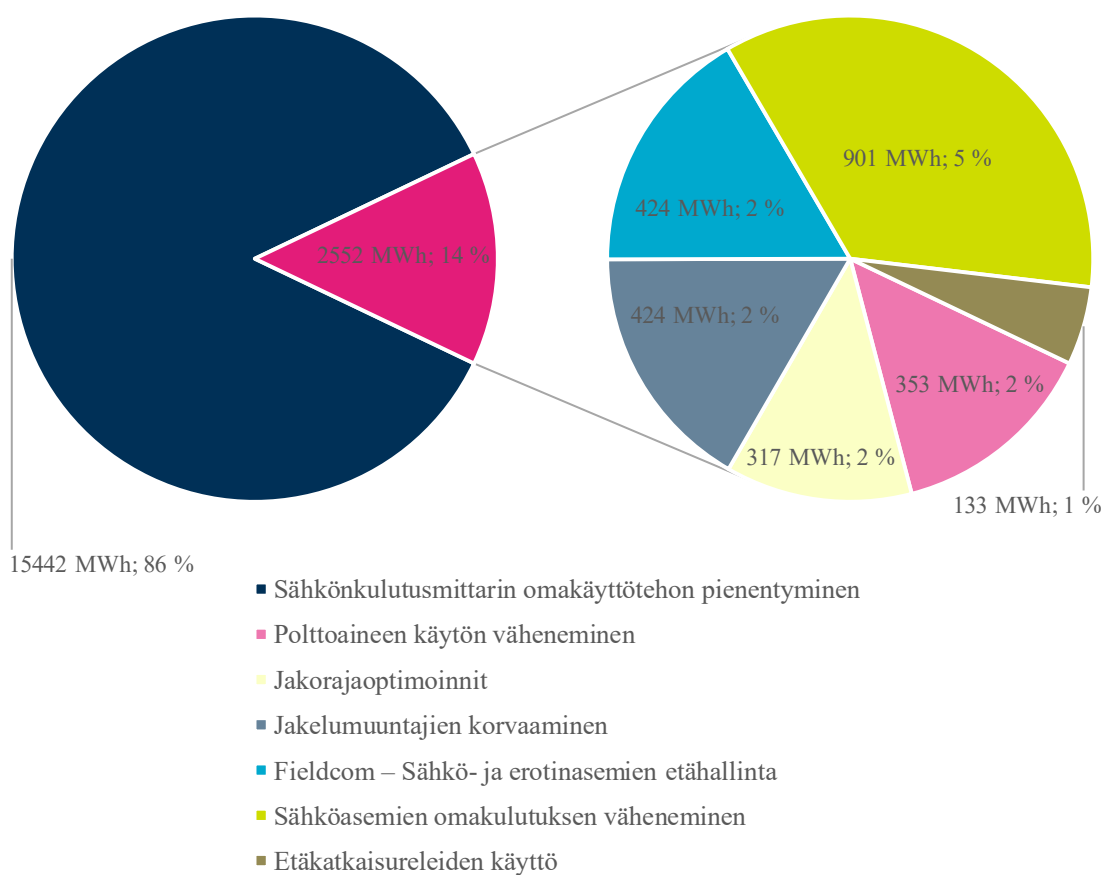
Kuva 4.2 Suomen sähkönjakelu- ja siirtoverkon energiahäviöiden kehittyminen vuosina 1970–2016. Perustuu lähteeseen (Energiateollisuus, 2017c).

Jakeluverkon häviöt ovat puolittuneet vuoden 1970 yli neljästä prosentista alle kahteen prosenttiin vuoteen 2016 tultaessa. Myös siirtoverkon häviöt ovat puolittuneet, vaikka häviöt ovat jonkin verran kasvaneet 2000-luvun alkupuolella. Jakeluverkon häviöiden 2010-luvun alkupuoliskon loiva kasvu selittyy suurilta osin vuosien 2008–2009 talouden taantuman päättymisen seurauksena, kun erityisesti teollisuuden sähkönkulutus reagoi elpymään kysyntään.

4.1 Energiatehokkuuden kehittämistoimenpiteistä Elenia Oy:ssä

Sähköverkon energiatehokkuutta parannetaan jatkuvasti uutta verkkoa rakentamalla sekä uusimalla vanhoja verkostokomponentteja uudemmalla energiatehokkaalla teknologialla.

Energiatehokkuus on yhtenä suunnittelukriteerinä verkon suunnittelussa, sähköverkon häviökustannusten ollessa yksi suurimmista verkkoyhtiön menoeristä. Aikaisemmalla energiatehokkuussopimuskaudella 2008–2016 Elenia on raportoinut yhteensä yli 18 GWh suuruiset vuotuiset häviösäästöt sähköverkkoon tekemistään energiatehokkuustoimista. Tähän mennessä ylivoimaisesti merkittävimmät energiatehokkuuden säästötoimenpiteet on raportoitu sähkönkulutusmittarien omakäyttötehon pienentymisestä, kun induktiomittarit uusittiin ensimmäisen sukupolven etäluettavilla mittareilla. Tämän lisäksi sähköverkon ja toiminnan energiatehokkuudesta on raportoitu joitakin yksittäisiä energiatehokkuustoimia, joiden häviösäästöjen suuruus on kyetty riittävällä tarkkuudella määrittämään. Kuvassa 4.3 on esitettyä energiatehokkuussopimuskaudella 2008–2016 raportoidut seitsemän merkittävintä energiatehokkuustoimea.



Kuva 4.3 Elenian omakäyttöhäviöiden pienentäminen 2008–2015 (Elenia Oy, 2018b)

Energiatehokkuussopimustoiminnan aikana suurimmat energiasäästöt (15,4 GWh) on saatu 1. sukupolven etäluettavien sähkönkulutusmittarien asentamisen kautta. Vuoden 2008 loppuun mennessä suurin osa Elenian vanhanmallisista induktiomittareista oli korvattu uusilla energiatehokkaammilla etäluettavilla älykkäillä sähkönkulutusmittareilla. Täten Valtioneuvoston asetus verkkoyhtiöille siirtää vähintään 80 prosenttia asiakkaista etäluennan piiriin vuoteen 2014 mennessä (Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten

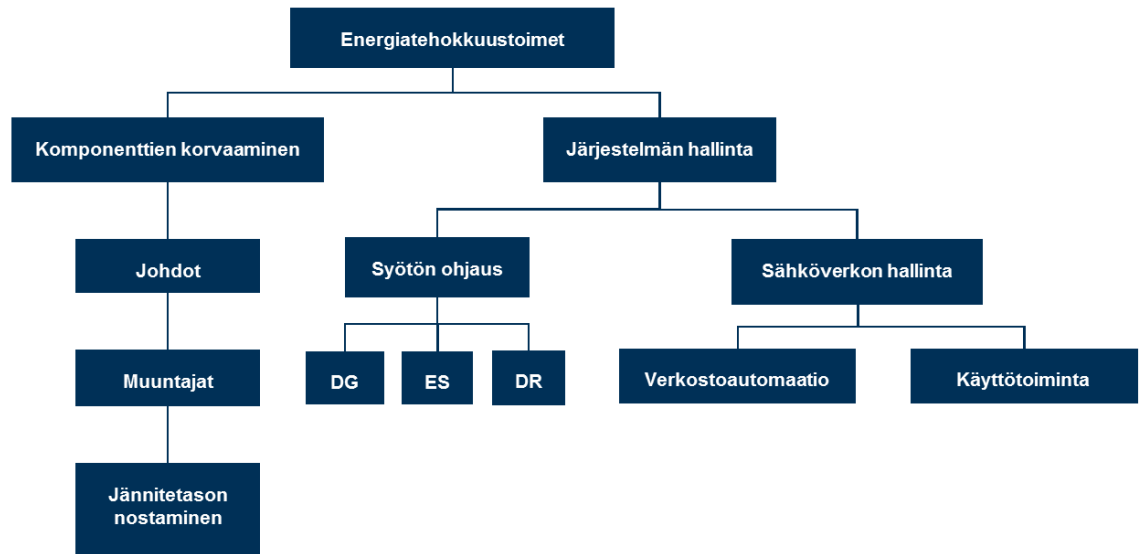
selvityksestä ja mittauksesta, 2009) toteutettiin jopa kuusi vuotta ennen virallista määräaikaa. Etäluettavien mittarien asentamisen kautta saatu vuotuinen energiansäästö vuoteen 2015 asti on ollut lähes 2 GWh, mikä on saavutettu etäluettavien mittareiden sekä tariffireleiden pienemmän tehonkulutuksen ansiosta. Lisäksi energiatehokkuutta on saatu merkittävästi edistettyä nk. ”tossuluennan” päättymisen myötä, kun verkkoyhtiön asentajien ei tarvitse enää käydä lukemassa mittareita asiakkaan päässä. Tossuluennan kautta saatava vuotuinen energiansäästö perustuu käytännössä polttoaineen käytön vähenemiseen, joka on kuvan 4.3 mukaan mahdollistanut yli 350 MWh energiasäästön sopimuskauden 2008–2016 aikana. (Elenia Oy, 2018b)

Etäluettavien mittareiden asentamisen lisäksi energiatehokkuutta on edistetty edellisen sopimuskauden aikana myös sähköasemien saneerauksien, verkon käyttötoiminnan ja jakelumuuntajien korvaamisten kautta. Sähköasemien energiansäästöt (901 MWh) ovat perustuneet pääasiassa sähköasemien sähköntarpeen pienentämiseen, kun rakennuksia on uusittu energiatehokkaimmaksi muun muassa lämmityksen säätöasetteluilla ja lämpöpumppuja asentamalla. Verkon käyttötoiminnan osalta energiatehokkuutta on saatu edistettyä 317 MWh pääasiassa suurjännite- ja keskijänniteverkon nk. normaalin kytkentätilanteen suunnitelman päivittämisellä. Tällöin verkon normaalin kytkentätilanteen jakorajojen asetteluja on muutettu siten, että sähkönsiirron häviöt pienenevät. Todellisuudessa jakorajaoptimoinnin kautta saadut energiansäästöt voidaan olettaa huomattavasti suuremmiksi, sillä jakorajaoptimoinnin energiatehokkuustoimista on raportoitu sopimuskauden aikana vain kahtena vuonna muutaman merkittävimmän jakorajaoptimoinnin osalta. Jakorajaoptimoinnin potentiaalia sähköverkon energiatehokkuuden edistämisessä arvioidaan luvussa 4.5.2. (Elenia Oy, 2018b)

Elenian näkökulmasta sähköverkon energiatehokkuuden edistäminen on vahvassa murrosvaiheessa. Tähän asti 86 prosenttia energiansäästöä on saavutettu induktiomittareista etäluettaviin älykkäisiin sähkömittareihin siirryttäessä. Tulevaisuudessa saman suuruusluokan energiansäästöpotentiaalia 2. sukupolven sähkönkulutusmittareihin siirryttäessä ei kuitenkaan tämän hetkisen tiedon perusteella ole odotettavissa. Toisaalta jakeluverkkoa uusitaan maakaapeliverkoksi ripeään tahtiin vuonna 2013 uudistuneen sähkömarkkinalain toimitusvarmuusvaatimusten täyttämiseksi. Maakaapelointiprojektien yhteydessä myös merkittävä määrä vanhoista pylväsmuuntamoista uusitaan, mikä edistää sähköverkon energiatehokkuutta.

4.2 Jakeluverkon energiatehokkuustoimet

Verkkoyhtiön energiatehokkuutta analysoitaessa on tärkeää tunnistaa relevantit ja potentiaaliset energiatehokkuustoimet, jotta energiatehokkuutta voidaan edistää tavoitteellisesti. Käytännössä jakeluverkon energiatehokkuutta voidaan parantaa perinteisesti verkon komponentteja vaihtamalla tai järjestelmän hallinnalla. Kuvassa 4.4 on esitetty havainnollistava kaavio potentiaalisista energiatehokkuustoimista verkkoyhtiön liiketoiminnan näkökulmasta.



Kuva 4.4 Jakeluverkon pääasiallisten energiatohokkuustoimien kategorisointi. Muotoilun lähteestä (Tractebel Engineering & Ecofys, 2015)

Jakeluverkon energiatohokkuutta voidaan parantaa perinteisesti komponentteja uusimalla eli pääasiallisesti uusia johtoja ja muuntajia rakentamalla. Myös jännitetason nostaminen voidaan lukea komponenttitason energiatohokkuustoimenpiteisiin, sillä käytännössä tekniikka edellyttää uusien verkkokomponenttien rakentamista. Muut komponentit käsittävät energiatohokkuuden kehittämisen verkon sekundäärikomponenttien, kuten AMR-mittareiden ja loistehon kompensointilaitteiston kautta. Verkon primäärikomponenteille eli johdoille ja muuntajille kehitetään häviösäästölaskentaan soveltuvia työkaluja luvussa 5. Verkon sekundäärikomponenttien häviöitä analysoidaan teoriatasolla, mutta häviölähteiden monimuotoisuudesta johtuen yksittäisille komponenteille ei kehitetä häviösäästölaskennan menetelmiä.

Komponenttitason energiatohokkuustoimien ohella verkkoyhtiön energiatohokkuutta voidaan edistää myös järjestelmän hallintaa kehittämällä. Tämän kategorian alle kuuluvat sähköverkon hallinta ja verkon syötön ohjaus eli käytännössä kysyntäjousto (DR). Edelleen kysyntäjouston ympärille kytkeytyvät hajautettu tuotanto (DG) ja energiavarastot (ES), jotka toimivat kaikki vahvasti limittäin jakeluverkon energiatohokkuutta tarkasteltaessa. Vastaavasti verkonhallinnalla energiatohokkuuden edistämiseksi tarkoitetaan verkostoautomaation ja käyttötoiminnan ohjaustoimenpiteitä verkon energiatohokkuuden edistämiseksi. Järjestelmätason potentiaalia verkkoyhtiön energiatohokkuuden edistämisen näkökulmasta tarkastellaan luvussa 4.5.

Kuvassa 4.4 esitettyjen pääasiallisten jakeluverkon energiatohokkuustoimien lisäksi omakäytön energiatohokkuutta voidaan edistää myös mm. verkon suunnittelun ja rakennuttamisen tasolla. Verkon suunnittelussa energiatohokkuutta voidaan edistää komponenttien valinnan ja mitoittamisen lisäksi esimerkiksi tehokkaalla maankäytöllä ja muuntajan si-

joitustavan valinnalla. Vastaavasti taas rakennuttamisen tasolla energiatehokkuutta voidaan edistää esimerkiksi siten, että uuden jakeluverkon maakaapelointiprojekti pyritään toteuttamaan samanaikaisesti teleoperaattorien yms. toimijoiden kanssa. Tällä tavoin toimimalla pystytään rakennuttamisen energiasäästön lisäksi optimoimaan myös toiminnan kokonaistehokkuutta.

4.3 Jakeluverkon komponenttitason häviölähteet

Jakeluverkon häviöt muodostuvat pääasiassa ns. verkon primäärikomponenteissa eli muuntajissa sekä johdoissa, minkä lisäksi häviöitä muodostuu jonkin verran myös muissa verkon komponenteissa, kuten sähkönkulutusmittareissa ja sähköasemien omakäyttö- sekä päämuuntajissa. Karkeasti voidaan todeta, että verkon suhteelliset häviöt kasvavat mitä lähemmäs asiakasrajapintaa mennään pääosin jännitetaso laskusta ja pienemmistä johdin poikkipinnoista johtuen. Jakeluverkon muuntajien osalta häviöt korostuvat asiakasta lähestyttäessä taas niiden lukumäärän kasvun vuoksi alemmilla jännitetasoilla. (Honkapuro et al., 2015)

Elenian sähkötaseesta laskettu häviöenergian määrä on vaihdellut viimeisen viiden vuoden aikana vuosittain 3,35 – 3,61 prosentin välillä, vuosittaisten häviöiden keskiarvon ollessa noin 3,5 prosenttia (taulukko 4.1). Uusimpien, vuoden 2016 sähköverkkotoiminnan tunnusluvuista laskettujen häviöenergioiden perusteella Suomen jakeluverkkoyhtiöiden valtakunnallinen häviöenergiaprosentin keskiarvo on noin 4,3 prosenttia, luvun vaihteluvälin ollessa 1,49 – 15,42 prosentin välillä. (Energiavirasto, 2017) Täten Elenian sähköverkon häviöt ovat valtakunnan keskiarvoa lähes prosenttiyksikön verran alemmalla tasolla. Täytyy kuitenkin muistaa, että häviöenergiaprosentin suuruuteen vaikuttavat huomattavissa määrin erilaiset muuttujat, kuten jakeluverkon rakenne, sijainti ja asiakaslukumäärä.

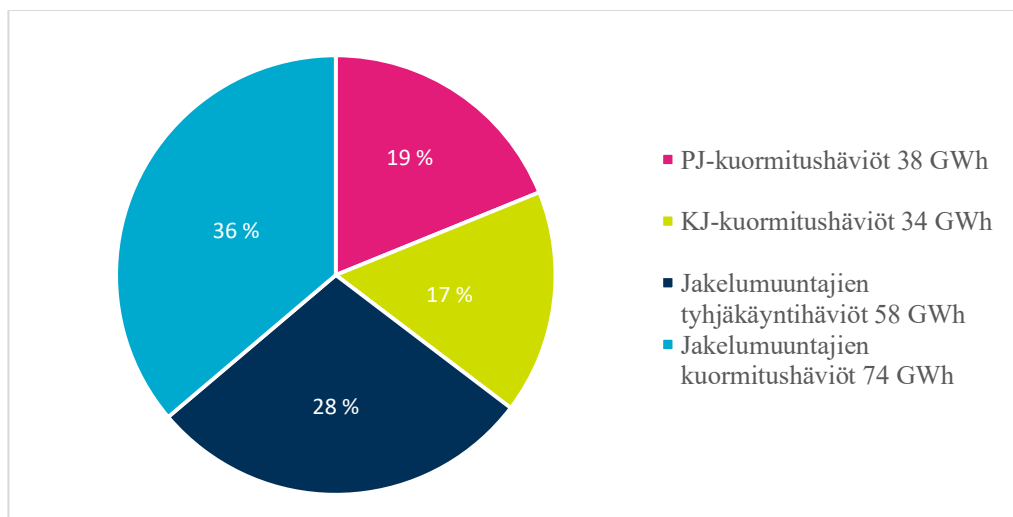
Taulukko 4.1 Elenian sähköverkon vuosittaiset häviöenergiat (Elenia Oy, 2018b)

Vuosi	Kokonaishankinta, GWh	Häviöenergia, GWh	Häviöenergia-%
2017	7 535,6	258,9	3,44 %
2016	7 079,3	242,5	3,43 %
2015	6 468,1	216,5	3,35 %
2014	6 341,1	229,1	3,61 %
2013	6 464,0	232,7	3,60 %
Keskiarvo	6 777,6	235,9	3,48 %

Taulukon 4.1 kokonaishankinta on saatu laskemalla yhteen toisilta verkonhaltijoilta ja verkkopalveluasiakkailta Elenian sähköverkkoon toimitettu sähköenergia. Vastaavasti häviöenergia on saatu kokonaishankinnan sekä sähkönloppukäyttäjille ja toisille verkon-

haltijoille siirretyn energiamäärän erotuksena. Taulukosta 4.1 nähdään, että Elenian sähköverkon häviöenergiaprocentin trendi on ollut viimeisen 5 vuoden aikana laskeva, kun taas kokonaishankinnan trendi on ollut nouseva. Elenian laskenta-asiantuntijan mukaan viime vuosien häviöenergian suhteellinen lasku selittyy pääasiallisesti 110 kV:n verkkoon liitetyn tuulivoimatuotannon ansiosta. Suurjänniteverkkoon liitetty tuulivoimatuotanto kasvattaa merkittävästi sähkönsiirron volyymia, kun taas häviöiden osuus siirrosta on vain noin puolen prosenttien luokkaa. Tällöin verkkoon liitetty tuulivoimatuotanto kasvattaa verkon absoluuttisia häviöitä, mutta vastaavasti pienentää häviöiden suhteellista osuutta sähkönsiirrosta. Kokonaisuudessaan 110 kV:n verkkoon liitetyn tuulivoimatuotannon vaikutusta verkon kokonaishäviöihin voidaan pitää pienenä. Lisääntyneen suurjänniteverkon tuulivoimatuotannon ohella vuoden 2015 pientä häviöenergiaprocenttia selittää poikkeuksellisen lämmin vuosi ja tätä kautta kuormitusprofiilin tasoittuminen.

Sähköverkon pienjännite- ja keskijännitejohdoille sekä jakelumuuntajille laskettiin Trimble NIS verkkotietojärjestelmällä Elenian sähköverkon suhteelliset häviöt. Tehonjakolaskennalla saatiin Elenian jakeluverkon kokonaishäviöiksi 204 GWh, joka on noin 20 prosenttia pienempi kuin taulukossa 4.1 esitetty vuoden 2017 häviöenergian suuruus. Tehonjakolaskennalla saatu pienempi häviöenergian määrä on selitettävissä verkon laskentakriteerien valinnalla. Tehonjakolaskenta rajattiin ainoastaan pienjännite- ja keskijänniteverkon johtimien ja jakelumuuntajien tasolle, jolloin esimerkiksi 110 kV:n siirtojohtojen ja päämuuntajien häviöt jäivät verkostolaskennan ulkopuolelle. Niin ikään verkostolaskennassa ei laskettu häviöitä myöskään jakeluverkon muille häviölähteille, kuten energiamittareille ja loistehon kompensointilaitteistoille. Tehonjakolaskennan mukaiset vuosittaiset häviöt Elenian verkossa on esitetty kuvassa 4.5.



Kuva 4.5 Verkkotietojärjestelmällä lasketut sähköverkon häviöt

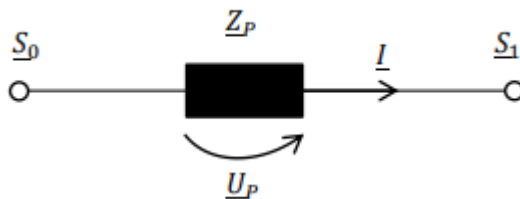
Tehonjakolaskennan tulosten mukaan jakelumuuntajat ovat Elenian jakeluverkon merkittävin häviölähde, sillä muuntajien kuormitus- ja tyhjäkäyntihäviöt kattavat yhdessä lähes kaksi kolmasosaa jakeluverkon häviöistä. Jakelumuuntajien häviöt jakautuvat siten, että

kuormitushäviöt muodostavat noin 56 prosenttia ja tyhjäkäyntihäviöt noin 44 prosenttia muuntajien kokonaishäviöistä. Myös keskijännite- ja pienjännitejohtojen osalta häviöt jakautuvat suhteellisen tasaisesti: jakeluverkon johtojen häviöistä pienjännitejohdot muodostavat noin 53 prosenttia ja keskijännitejohdot noin 57 prosenttia. Verkostolaskennalla saadut tulokset ovat varsin yhteneviä esimerkiksi lähteissä (Finning, 2010) ja (Kohonen, 2017) saatujen jakeluverkon häviölaskennan tuloksien kanssa.

4.3.1 Johdot

Sähköjohtojen häviöt ovat pääasiassa nk. kuormitushäviöitä, jotka ovat kuormituksen suuruuden mukaan skaalautuvia häviöitä. Johdoissa syntyy kuormitushäviöitä, kun elektronit liikkuessaan törmäilevät johdinmateriaalin kiderakenteeseen aiheuttaen näin lämpöhäviöitä. Tätä ilmiötä kutsutaan resistanssiksi ja se on sähköverkon johdinten pääasiallinen häviölähde. Kuormitushäviöiden ohella johtimissa esiintyy myös vähäisiä tyhjäkäyntihäviöitä, joita muodostuu kaikissa verkon jännitteisissä komponenteissa kuormituksen suuruudesta riippumatta. Tyhjäkäyntihäviöt muodostuvat johtimissa vuotokonduktanssista johtimien eristyksen läpi ja avojohdoissa eristyksen pinnalla esiintyvien epäpuhtauksien takia. Jakeluverkon johtimien kokonaishäviöiden osalta tyhjäkäyntihäviöitä voidaan pitää merkityksettömän pienenä. (Elovaara & Haarla, 2011)

Kuvassa 4.6 on esitetty johdon 1-vaiheinen sijaiskytkentä. Käytetään kuvaa apuna johdon 1-vaiheisen tehohäviölausekkeen muodostamisessa.



Kuva 4.6 Johdon 1-vaiheinen sijaiskytkentä. (Elovaara & Haarla, 2011)

Tehohäviöt kuvassa 7 esitetyllä sijaiskytkennällä voidaan laskea yhtälöä (1) soveltamalla (Elovaara & Haarla, 2011)

$$\begin{aligned} \underline{S}_{L,P} &= \underline{S}_0 - \underline{S}_1 = \underline{U}_P \underline{I}^* = \underline{Z}_P |\underline{I}|^2 = (R_P + jX_P)(I_p^2 + I_q^2) \\ &= (I_p^2 + I_q^2)R_P + j(I_p^2 + I_q^2)X_P = P_{L,P} + jQ_{L,P} \end{aligned} \quad (1)$$

jossa \underline{S}_0 on näennäisteho johdon alussa
 \underline{S}_1 on näennäisteho johdon lopussa
 $\underline{S}_{L,P}$ on johdossa syntyvä tehohäviö
 \underline{Z}_P on johdon impedanssi
 \underline{U}_P on johdon yli oleva jännite

I_p on johdon pätövirta

I_q on johdon loisvirta

Yhtälöstä (1) pystytään johtamaan edelleen 3-vaiheisen johdinrakenteen pätötehohäviön yhtälö

$$\begin{aligned} P_L = 3P_{L,P} &= 3(I_p^2 + I_q^2)R_P = \left(\frac{P^2}{U_P^2} + \frac{Q^2}{U_P^2}\right)R_P \\ &= \left(\frac{P}{U}\right)^2 R_P + \left(\frac{Q}{U}\right)^2 R_P \end{aligned} \quad (2)$$

Samalla tavalla yhtälöä (1) soveltamalla saadaan johdettua myös 3-vaiheisen johdinrakenteen loistehohäviön yhtälö, jolloin tulokseksi saadaan

$$Q_L = \left(\frac{P}{U}\right)^2 X_P + \left(\frac{Q}{U}\right)^2 X_P \quad (3)$$

Yhtälöstä (2) huomataan, että johtimen pätötehohäviön suuruuteen vaikuttavat siirrettävän virran suuruus sekä resistanssi. Johtimen resistanssia pystytään pienentämään joko johtimen poikkipinta-aloja suurentamalla tai materiaalivalinnoilla. Virran suuruuteen pystytään vaikuttamaan jännitettä nostamalla, jolloin siirrettävän virran suuruus laskee samassa suhteessa siirrettävän pätötehon pysyessä samana. Yhtälöstä huomataan myös virran suuruuden neliöllinen vaikutus pätötehon suuruuteen. Tätä kautta virran voimakas kasvu johdolla suuren kuormituksen aikaan kasvattaa johdon tehohäviöitä suhteessa siirrettävän tehon suuruuteen. Tätä ilmiötä havainnollistetaan tarkemmin luvussa 4.5. Yhtälöstä (2) huomataan myös, että loistehon siirto jakeluverkossa kasvattaa loistehohäviöiden ohella myös pätötehohäviöitä. Loistehon siirto kasvattaa jakeluverkossa kulkevan virran suuruutta, mikä kasvattaa edelleen pätötehohäviöitä. Käytännössä loistehon siirto pienentää tällä tavoin jakeluverkon pätötehon siirtokapasiteettia. (Elovaara & Haarla, 2011)

4.3.2 Muuntajat

Muuntajien häviöt koostuvat sekä kuormitus- että tyhjäkäyntihäviöistä. Muuntajissa, kuten kaikissa muissakin jännitteisissä verkon osissa syntyy tyhjäkäyntihäviöitä. Muuntajien tyhjäkäyntihäviöiden osalta tilanne on kuitenkin täysin toisenlainen kuin johtimissa: useimmissa EU-maissa muuntajien tyhjäkäyntihäviöiden suhde kuormitushäviöihin saattaa olla jopa kolme kertaa suurempi. (Tractebel Engineering & Ecofys, 2015) Toisaalta muuntajien tehohäviöiden osalta myös kuormitushäviöt ovat merkitseviä, joten molemmilla häviötyypeillä on roolinsa muuntajien energiatehokkuuden edistämisessä.

Muuntajien tyhjäkäyntihäviötä syntyy aina, kun muuntaja on kytketty jännitteiseksi. Tyhjäkäyntihäviöitä syntyy myös tilanteessa, jossa muuntajan toisiopuolelle ei ole kytkettyä lainkaan kuormaa. Muuntajien tyhjäkäyntihäviöt jaetaan edelleen hystereesi- ja pyörrevirtahäviöihin, jotka aiheutuvat magneettivuon vaihteluista rautasydämessä. Käytännössä tyhjäkäyntihäviöt tapahtuvat pääasiassa muuntajan rautasydämessä, minkä perusteella tyhjäkäyntihäviöt ovat usein puhekielessä nk. rautahäviöitä. Hystereesi- ja pyörrehäviöiden lisäksi tyhjäkäyntihäviöissä on myös kolme muuta alityyppiä: magnetointivirran aiheuttamat pätötehohäviöt, hajanaiset pyörrevirtahäviöt rautasydämen kiinnikkeissä sekä pulteissa ja eristeessä tapahtuvat häviöt. Hystereesi- ja pyörrehäviöiden muodostaessa noin 99 prosenttia muuntajan tyhjäkäyntihäviöistä kolme muuta tyhjäkäyntihäviöiden alityyppiä voidaan jättää usein huomioita. (Georgilakis, 2011)

Johtojen tapaan myös muuntajan kuormitushäviöt syntyvät resistanssin seurauksena, kun virta kulkee muuntajan käämityksessä käytetyn kuparijohdon läpi. Tästä syystä muuntajien kuormitushäviöitä kutsutaan puhekielessä usein nk. kuparihäviöiksi. Aivan kuten johtojen teoriaosuudessa luvussa 4.3.1 esitettiin, myös muuntajan kuparihäviöiden suuruus määräytyy resistanssin ja virran neliöllisyyden perusteella. Täten kuparihäviöitä pystytään oleellisesti vähentämään tasaamalla muuntajien kuormitus mahdollisimman tasaisesti useamman muuntajan välillä. (Georgilakis, 2011)

Muuntajan vuosittaisia energiahäviöitä on mahdollista arvioida valmistajan ilmoittamien nimellisten tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöiden kautta alla esitettyä yhtälöä soveltaen (Te Mana Hiko, 2013):

$$W_L = (P_0 + P_K * L^2) * 8760 \text{ h} \quad (4)$$

jossa W_L on muuntajan vuosittaiset häviöt
 P_0 on muuntajan nimellinen tyhjäkäyntiteho
 P_K on muuntajan nimellinen kuormitusteho
 L on muuntajan keskimääräinen kuormitusaste
 8760 h on vuoden tuntien lukumäärä

Yhtälöstä (4) huomataan, että muuntajan tyhjäkäyntihäviöt saadaan laskettua suoraan kertomalla muuntajan kilpiarvon mukainen nimellinen tyhjäkäyntiteho vuoden tuntien lukumäärällä. Kuormitushäviöiden osalta laskeminen ei ole kuitenkaan yhtä suoraviivaista kuormitushäviöiden skaalautuessa kuormitusasteen neliöllisyyden perusteella. Tällöin tarkan kuormitushäviön määrittämiseksi pitäisi tietää muuntajan ajallinen kuormitusaste eli muuntajan läpi kulkevan näennäistehon ajallinen vaihtelu suhteessa muuntajan nimellistehoon. Yhtälöä (5) soveltamalla saadaan muodostettua yhtälö hetkelliselle kuormitushäviöteholle:

$$P_k = \left(\frac{S}{S_n}\right)^2 * P_n \quad (5)$$

jossa P_n on muuntajan nimellinen kuormitusteho
 S on muuntajan hetkellinen näennäisteho
 S_n on muuntajan nimellinen näennäisteho

Kuormitushäviöiden laskemisen osalta tarkin arvio saadaan muuntajien kuormitusdataa hyödyntämällä, kun tiedetään tuntikohtainen kuormitusteho suhteessa muuntajan nimellistehoon. Tämänkaltaisen laskentamalli on verraten helppo toteuttaa yksittäisten muuntajien kohdalla, jolloin laskentamalli soveltuu hyvin päämuuntajan uusimisen häviösäästövaikutuksen arviointiin. Vaihtoehtoisesti muuntajan kuormitushäviöitä voidaan arvioida valistuneesti keskimääräisen kuormitusasteen kautta, jolloin laskentaa ei tarvitse tehdä vuoden jokaisen tunnin osalta erikseen. Keskimääräiseen kuormitusasteeseen perustuva laskentamalli on paremmin sovellettavissa jakelumuuntajien osalta, kun häviösäästölaskenta tehdään kerralla useammalle muuntajavaihdokselle. Luvussa 5.1 esitetään häviösäästölaskentamenetelmät pää- ja jakelumuuntajille.

4.3.3 Muut häviölähteet

Sähköverkon primäärikomponenttien eli johtojen ja muuntajien ohella verkkoon on kytkettynä lukumääräisesti paljon niin sanottuja sekundäärikomponentteja, jotka synnyttävät merkitseviä sähkönsiirron ja -jakelun häviöitä. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi energiamittarit, sulakkeet sekä erilaiset verkon ohjaus- ja kytkinlaitteet. Varsinaisten verkostokomponenttien aiheuttamien fyysisten häviöiden lisäksi verkossa syntyy myös jonkin verran laskennallisia, mittaamattomia häviöitä, esimerkiksi energiamittareiden mitausvirheistä ja sähkövarkauksista johtuen.

Energiamittarit ovat tyypillisiä sähköverkon sekundäärikomponentteja, jotka ovat verraten pienitehoisia komponentteja, mutta kuluttavat suuren volyyminsä kautta paljon energiaa. Vuonna 2013 energiamittarit kuluttivat Elenian verkossa energiaa yhteensä jopa 9,5 GWh edestä. (Järvinen, 2013) Energiamittarit kuluttavat yleisesti noin 1–7 W yksikköä kohden mallista ja teknisistä ominaisuuksista riippuen. Vastaavasti Eleniassa nykyisin käytössä olevat etäluettavat mittarit kuluttavat noin yhden watin sähkönsiirron vaihetta kohden. Kuten luvussa 4.3 todettiin, tähän mennessä häviösäästöjä on raportoitu energiamittareiden vaihdon osalta yhteensä jopa 15,6 GWh, kun vanhat induktiomittarit korvattiin ensimmäisen sukupolven etäluettavilla mittareilla. Toisaalta lähitulevaisuudessa asennettavan toisen sukupolven etäluettavien mittareiden osalta samanlaista energiansäästöä ei ole kuitenkaan nykytiedon mukaan odotettavissa. Mittareiden tuotetietojen tarkentuessa energiansäästön potentiaalia voidaan tarvittaessa selvittää suhteellisen yksinkertaisella laskennalla. Mittalaitteen ja oheiskomponenttien, kuten tariffireleen tehonkulutus saadaan suoraan tuotetiedoista, jolloin energiankulutuksen suuruus saadaan suoraan

vuoden tuntien (8760 h) ja korvattavien mittareiden lukumäärällä kertomalla. Tämän jälkeen saatua tulosta verrattaisiin vastaaviin arvoihin vanhan mittarikannan osalta.

Muita merkittäviä häviöitä aiheuttavia verkon sekundäärikomponentteja ovat muun muassa sulakkeet, sähköasemien oheiskomponentit, kytkinlaitteet ja kasvavassa määrin loistehon kompensointilaitteistot. Yleensä näiden yksittäisten komponenttien häviöitä on vaikea arvioida tai häviöiden laskenta on työlästä suhteessa häviöiden suuruuteen. Täten sekundäärikomponenttien häviöiden ja mahdollisten häviösäästöjen selvittäminen on lähtökohtaisesti kannattavaa ainoastaan tilanteissa, joissa tiettyä komponenttia vaihdetaan suurempia kappalemääriä. Loistehon kompensointilaitteiston osalta häviösäästöjen arviointia ei tässä diplomityössä tehdä, koska loistehon kompensointia pidetään jakeluverkon maakaapeloinnin teknisenä edellytyksenä.

4.4 Komponenttitason energiatehokkuuden kehittäminen

Jakeluverkon häviöitä voidaan pienentää korvaamalla nykyisiä verkostokomponentteja uusilla energiatehokkaammilla komponenteilla. Nykyisin jakeluverkko mitoitetään suomalaisessa verkkoyhtiössä teknistaloudellisin perustein, joten suunnittelufilosofia perustuu hyvin pitkälti verkon elinkaarikustannusten minimointiin. (Honkapuro et al., 2015) Edellä mainitun kaltainen suunnittelufilosofia on johtanut tilanteeseen, jossa rakennettavan jakeluverkon energiatehokkuuden edistäminen perusuraan verrattuna on hyvin harvoin kokonaistehokasta. Tässä luvussa tarkastellaan verkon primäärikomponenttien eli johdinten ja muuntajien suunnitteluperiaatteita sekä tarkastellaan energiatehokkuuden huomioimista osana teknistaloudellista suunnitteluprosessia. Lähteen (Tractebel Engineering & Ecofys, 2015) mukaan jännitetasen nostaminen nähdään yhtenä jakeluverkon komponenttitason energiatehokkuustoimena, joten käydään luvussa 4.4.3 läpi jännitetasen nostamisen energiatehokkuuden edistämispotentiaali Elenian jakeluverkon osalta.

4.4.1 Johtimen poikkipinnan mitoittaminen

Sähköjohdon häviöihin pystytään vaikuttamaan parhaiten johdon poikkipinnan mitoittamisella. Tyypillisesti johdon poikkipinnan kaksinkertaistaminen vähentää johdon häviöitä neljänneksellä. Johdon poikkipinnan mitoittaminen tulee kyseeseen kuitenkin ainoastaan tilanteessa, jossa uutta verkkoa rakennetaan, sillä verkon rakennus- ja purkukustannukset ovat lähes poikkeuksetta poikkipinnan mitoituksen kautta saatuja häviösäästöjä suuremmat. (Lakervi & Partanen, 2012) Elenian näkökulmasta johtimen poikkipinnan mitoittaminen energiatehokkuuden edistämiseksi on ajankohtainen keino vähentää jakeluverkon häviöitä, sillä uutta jakeluverkkoa maakaapeloidaan vuosittain jopa 3000 kilometriä Säävarma -hankkeen yhteydessä.

Nykyisin johdinten poikkipinnat mitoitetään verkkoyhtiössä suunnitteluvaiheessa siten, että elinkaarikustannukset minimoituvat. Mitoittamisessa arvioidaan sekä johdon raken-

tamisen investointikustannuksia että pitoajan aikaisia muuttuvia häviöistä aiheutuvia kustannuksia. Johtimen poikkipinnan mitoittaminen on teknistaloudellinen optimointitehtävä, jossa on tarkoituksena ratkaista rajateho, jolla kalliimman poikkipinnaltaan suuremman johdon poikkipinnan A_2 käyttö on diskontattujen häviösäästöjen takia edullisempaa kuin pienemmän poikkipinnan A_1 käyttö. Kahden poikkipinnaltaan eri kokoisen johtimen pitoajan aikaisia kokonaiskustannuksia voidaan vertailla epäyhtälön (6) kautta:

$$K_{hA1} - K_{hA2} > K_{inv,A2} - K_{inv,A1} \quad (6)$$

jossa K_h on häviökustannusten diskontattu nykyarvo
 K_{inv} on investointikustannusten diskontattu nykyarvo

Epäyhtälöstä (6) huomataan, että isompaan johdinpoikkipintaan investoiminen on kannattavaa silloin, kun poikkipinnaltaan pienemmän johdon nykyarvoon diskontatut häviökustannukset kasvavat tietylle tasolle. Yhtälössä esitettyjen investointi- ja häviökustannusten lisäksi mitoituksen tarkkuuteen vaikuttavat myös häviösähkön nykyarvon määrittäminen sekä käytettävä laskentakorkokanta. Tyypillisesti sähkön pörssihinta ja sitä kautta häviökustannukset vaihtelevat johdon pitoajan aikana merkittävästi, mikä hankaloittaa häviökustannusten arvioimista. Tämän vuoksi häviökustannusten määrittämisen perustana käytetään usein hyödykkeiden ja kiinteän rahan arvoa, jolloin häviökustannusten määrittämisen vaikeuksilta vältytään. Toisaalta kiinteän rahan arvo luo häviökustannusten arviointiin omat haasteensa, kun häviökustannusten hinta muuttuu referenssinä käytetyn määrään arvon muutosten mukaisesti. (Lakervi & Partanen, 2012)

Nykyiset verkkoyhtiössä käytössä olevat teknistaloudelliset suunnittelukriteerit aiheuttavat sen, että rakennettavat johdot ovat usein hyvin vajaassa kuormassa. Tällöin johtojen kuormitettavuus on huomattavasti alhaisemmalla tasolla kuin mitä johtojen kuormituskestoisuus sallisi. Toisin sanoen johtojen teknistaloudelliset mitoituskriteerit ovat johtaneet siihen, että johdot mitoitetaan lähes poikkeuksetta paksumpaan poikkipintaan häviökustannusten minimoimiseksi. Tätä on havainnollistettu taulukossa 4.2, jossa on esitetty keskijännitekaapeleiden taloudelliset kuormitusalueet sekä suurin kuormitettavuus nimellisissä olosuhteissa. (Honkapuro et al., 2015)

Taulukko 4.2 Keskijännitemaakaapeleiden taloudelliset kuormitusalueet ja kuormitettavuus nimellisissä olosuhteissa. (Honkapuro et al., 2015)

Poikkipinta mm ²	Alaraja S [MVA]	Yläraja I [A]	Alaraja I [A]	Yläraja I [A]	Kuormitettavuus I [A]
10	0	0.27	0	7.65	77
16	0.27	0.42	7.65	11.98	99
25	0.42	0.62	11.98	17.9	126
35	0.62	0.88	17.9	25.26	152
50	0.88	1.24	25.26	35.8	185
70	1.24	1.71	35.8	49.36	223
95	1.71	2.24	49.36	64.66	264
150	2.81	3.49	81.26	100.89	300
185	3.49	4.42	100.89	127.59	330
240	4.42	5.63	127.59	162.52	385

Taulukosta 4.2 huomataan, että nykyisten suunnitteluperusteiden myötä keskijännitemaakaapelit ovat huomattavan vajaassa kuormassa suhteessa johdon sallimaan kuormitukseen. Pienillä johdinpoikkipinnoilla terminen kuormittavuus sallisi pääsääntöisesti jopa kymmenkertaisen kuormitettavuuden suhteessa taloudelliseen rajatehoon. Myös isoimpien käytössä olevien johtojen tapauksessa terminen kuormitettavuus voisi olla noin 2–3 kertaa taloudellista rajatehoa suurempi.

Edellä esitetyt jakeluverkon mitoitusperusteet johtavat tilanteeseen, jossa rakennettava sähköjohto on yleensä hyvin energiatehokasta. Yhtälön (6) mukaisesti suunnittelukriteerinä käytetään sähköverkon häviökomponenttia, mikä johtaa usein huomattavaan ylimitoittamiseen teknisen kuormitettavuuden näkökulmasta. Mikäli johtojen häviöitä haluttaisiin pienentää entisestään pelkästään poikkipinnan mitoittamisen kautta, johtaisi se kokonaiskustannusten kasvun kannalta epäoptimaaliseen ratkaisuun ja resurssitehokkuuden heikkenemiseen. Kuormituksen kasvuennusteiden myötä Elenian mitoittama ja rakentama jakeluverkko on kuitenkin pääsääntöisesti johdinpoikkipinnoiltaan korvattavaa verkkoa suurempaa ja täten myös edistää energiatehokkuutta. Laskentamenetelmiä johdinten poikkipinnan muutoksen kautta saatavaan energiansäästöön tarkastellaan luvussa 5.

Sähköjohdon poikkipinnan suurentamisen ohella johtimien häviöitä pystytään pienentämään johtimen resistiivisyyttä pienentämällä materiaalivalintojen kautta. Käytännössä sähköjohdon energiatehokkuuteen voitaisiin tällöin vaikuttaa siirtymällä alumiinijohtoista resistiivisyydeltään pienempiin kuparijohtoihin. Toisaalta kuparijohto on alumiinijohtoa noin kolme kertaa kalliimpaa (kg vs. kg), eivätkä kuparijohdolla saavutettavat häviösäästöt kattaisi kuparijohdon suurempia investointikustannuksia teknistaloudellisesta näkökulmasta.

4.4.2 Muuntajan häviöiden optimoiminen

Jakelumuuntajien häviöitä voidaan pienentää tehokkaimmin korvaamalla vanhoja muuntajia uusilla energiatehokkailla muuntajilla. Energiatehokkailla muuntajaratkaisulla voidaan vaikuttaa kustannustehokkaasti sekä tyhjäkäynti- että kuormitushäviöiden määrään, minkä lisäksi muuntajien vaihtaminen on suhteellisen helppoa. (Tractebel Engineering & Ecofys, 2015) Elenian Säävarma -maakaapelointihankkeen yhteydessä uusitaan lukuisia vanhoja pylväsmuuntajia energiatehokkaammaksi puistomuuntajiksi mahdollistaen näin merkittävän energiansäästöpotentiaalin. Esimerkiksi vuonna 2016 Elenian sähköverkkoon asennettiin 1134 uutta puistomuuntajaa, joilla korvattiin vanhoja ilmajohtoverkon pylväsmuuntajia. (Elenia Oy, 2017a)

Johtimien mitoittamisen tapaan myös verkkoyhtiön muuntajahankinnat tehdään teknistaloudellisen suunnittelun perusteella elinkaarikustannukset minimoiden. Muuntajan pitoajan aikaisia kokonaiskustannuksia arvioitaessa sovelletaan nk. TCO (suom. omistamisen kokonaiskustannus) -ajattelumallia, jolloin varsinaisen investoinnin ostohinnan ohella hankintojen suunnittelussa huomioidaan muuntajayksikön pitoajan aikaiset kokonaiskustannukset. Muuntajan osalta merkittäviä pitoajan aikaisia kustannustekijöitä ovat:

- Kuormitushäviöt
- Tyhjäkäyntihäviöt
- Vuotuinen keskimääräinen kuormitusaste (%)
- Vuotuinen toiminta-aika (h)
- Energian hinta (EUR/kWh)
- Korkotaso (diskonttokorko, %)
- Käyttöikä (a)

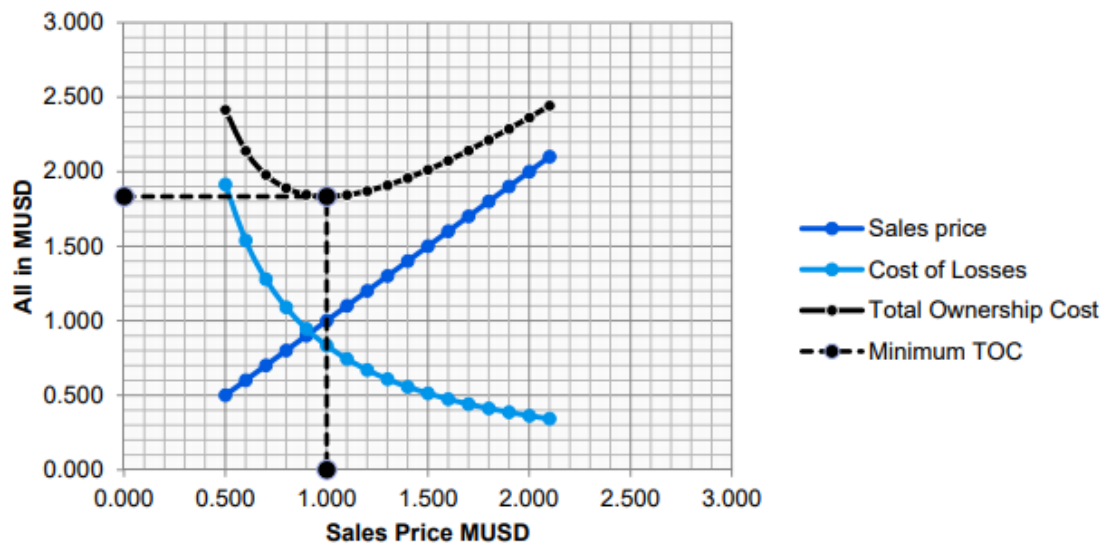
Listauksen perusteella huomataan, että energiatehokkuus on keskeinen tekijä muuntajahankintojen suunnittelussa. Käytännössä energiatehokkuuden rooli muuntajahankinnoissa korostuu sitä enemmän, mitä korkeammalle häviökustannukset sekä energian hinta arvostetaan.

Muuntajille TCO-mallia sovelletaan siten, että hankintapäätöstä tehtäessä kullekin muuntajalle lasketaan ennuste pitoajan aikaisista kokonaiskustannuksista. Yhtälöstä (7) huomataan, että muuntajan häviöt ja tätä kautta energiatehokkuus korostuvat voimakkaasti muuntajan hankintapäätöksiä tehtäessä:

$$TCO = C_t + (A \times P_0) + (B \times P_k) \quad (7)$$

jossa TCO on pitoajan aikaiset kokonaiskustannukset
 C_t on muuntajan ostohinta
 A on tyhjäkäyntihäviöiden kapitalisaatiokerroin
 B on kuormitushäviöiden kapitalisaatiokerroin
 P_0 on tyhjäkäyntihäviöt
 P_k on kuormitushäviöt

Edellä esitetyistä termeistä muuntajan ostohinta (C_t) sekä tyhjäkäynti- (P_0) ja kuormitus-
häviöt (P_k) ovat helposti saatavilla valmistajan ilmoittamista tiedoista ja muuntajan kil-
piarvoista. Toisaalta kapitalisaatiokertoimet A ja B vaativat tarkempaa analysointia, sillä
kertoimet ovat riippuvaisia muun muassa häviöenergian hintaennusteesta, muuntajan
käyttöiän ennusteesta ja pääoman hankintakustannuksista. Käytännössä yhtälöä (7) so-
velletaan laskentasovelluksen kautta, joka laskee muuntajan pitoajan aikaiset kustannuk-
set annettujen parametrien perusteella. Tällöin hankintapäätöksessä analysoitaville
muuntajille saadaan muodostettua muuntajatyypikohtaiset osto- ja häviöhintakäyrät, joi-
den perusteella pystytään määrittämään hankintapäätöstä tukeva minimi TCO kuvan 4.7
mukaisesti:



Kuva 4.7 Energiatohokkuuden huomioiminen osana muuntajan pitoajan aikaisten kus-
tannusten määrittämistä. (ABB Oy, 2015b)

Kuvasta huomataan, että häviökustannukset laskevat muuntajan hinnan kasvaessa. Mi-
nimi TCO saadaan määritettyä kohdasta, jossa yhteenlaskettujen osto- ja häviöhinta-
käyrien summa on mahdollisimman pieni. Täten kuvan käyristä voidaan päätellä, että
muuntajan energiatohokkuuden edistäminen on kannattavaa ainoastaan tiettyyn rajaan
asti, jonka jälkeen energiatohokkuuden edistäminen ei ole enää taloudellisessa mielessä
perusteltua. Tyypillisesti muuntajan häviöitä pystytään vähentämään materiaalin määrää
kasvattamalla ja materiaalilajia vaihtamalla sekä jäähdytysväliaineita ja -menetelmiä pa-
rantamalla. Toisin sanoen tekniikka muuntajien energiatohokkuuden parantamiseen on
olemassa, mutta taloudellisesta näkökulmasta sen hyödynnettävyys on perusteltua vain
tiettyyn pisteeseen asti. Esimerkiksi ABB:n markkinoimat AMDT -muuntajat eli sydän-
rainaltaan kiderakenteettomasta metallista valmistetut muuntajat mahdollistavat jopa 70
prosentin tyhjäkäyntihäviösäästöt suhteessa voimassa olevan ekosuunnitteludirektiivin

vaatimustasoon. (ABB Oy, 2015a) Eleniassa AMDT -tekniikkaa sovelletaan pääasiassa pienemmän kokoluokan (50 ja 100 kVA) jakelumuuntajahankinnoissa, joissa tyhjäkäyntihäviöiden pienentäminen korostuu suhteessa kuormitushäviöihin.

Muuntajien energiatehokkuuden suunnittelussa edellä esitettyjä taloudellisia kriteereitä tiukemmat ehdot tulevat yleensä lainsäädännöstä. Vuonna 2009 voimaan astunut ekosuunnitteludirektiivi (Komission asetus 548, 2014) asettaa raja-arvoehdot muuntajien maksimi tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöille. Direktiivi astuu voimaan porrastetusti: ensimmäinen vaatimustaso astui voimaan vuonna 2015 ja lopullinen vaatimustaso vuonna 2021. Ekosuunnitteludirektiivissä kullekin muuntajakokoluokalle on määritetty raja-arvot maksimi tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöiden osalta. Ekosuunnitteludirektiivin vaatimukset koskevat ensisijaisesti muuntajavalmistajia, sillä direktiivi kieltää esitetyn häviövaatimustason ylittävien muuntajien markkinoimisen EU-alueella. Verkkoyhtiön näkökulmasta direktiiviä tulkitaan siten, että vaatimustason mukaisten vuosien jälkeen ko. vuoden rajaehdot ylittäviä muuntajia ei saa enää ostaa, mutta aikaisemmin hankittua muuntajakapasiteettia saa vielä kytkeä verkkoon.

Täysin uusien muuntajien hankinnan ohella energiatehokkuutta voitaisiin edistää merkittävästi mahdollista reservissä olevaa muuntajakapasiteettia hyödyntämällä. Tällöin verkosta voitaisiin tunnistaa vanhimpia energiatehokkuusmielessä potentiaalisimpia muuntajia ja korvata näitä varastossa olevalla ”ylimääräisellä” muuntajakapasiteetilla. Esimerkiksi Alankomaalaisessa Enexis verkkoyhtiössä verkon vanhimpia ja huonokuntoisimpia muuntajia on korvattu verkonlaajennusprojektien yhteydessä puretulla muuntajakapasiteetilla. (Tractebel Engineering & Ecofys, 2015) Elenian tapauksessa tämänkaltaista menettelytapaa voitaisiin soveltaa esimerkiksi Säävarma -projektien yhteydessä purettavien kohtuullisen uusien pylväsmuuntajien osalta. Tällöin purettavalla muuntajalla voitaisiin korvata proaktiivisesti mm. maakaapelointiprojektien ulkopuolisten haja-asutusalueiden vanhoja pylväsmuuntajia ilman merkittäviä investointikustannuksia.

Nykyään kaikki alle 20 vuotta vanhat purettavat muuntajat varastoidaan Elenian aluekumppaneiden toimesta tulevaisuuden jatkokäyttöä varten. Lähtökohtaisesti varastossa olevat muuntajat otetaan uusiokäyttöön suunnitteluprojektien kautta, kun verkosta tunnistetaan esimerkiksi ylikuormitettuja muuntopiirejä. Varsinaisessa energiatehokkuusmielessä muuntajien uusiokäyttöä ei kuitenkaan nykytilanteessa tehdä. Energiatehokkuuden raportoinnin näkökulmasta uusiokäyttöön menevät muuntajat edustavat uusien muuntajien ohella merkittävää energiansäästöpotentiaalia, josta kannattaisi kerätä systemaattisesti tietoa energiasäästömäärien saavuttamiseksi.

4.4.3 Jännitetason nostaminen

Jännitetason nostaminen pienentää virran suuruutta siten, että sama energiamäärä voidaan siirtää verkossa pienemmillä häviöillä. Jakelujännitettä nostettaessa virtaa voidaan pienentää samassa suhteessa perusmuotoisen pätötehohtälön (8) mukaisesti, kun siirrettävä energiamäärä pidetään vakiona:

$$P = 3UI \cos \varphi \quad (8)$$

jossa P on johto-osuudella siirrettävä pätöteho
 U on johto-osuuden vaihejännite
 I on johto-osuuden virta
 φ on kuormituksen tehokerroin

Häviöiden pienentämisen ohella jännitetason nostamisella pystytään myös parantamaan verkon jakelujännitteen laatua sekä hajautetun tuotannon (DG) siirtokapasiteettia sähköverkossa. Energiatehokkuuden näkökulmasta jännitetason nostaminen soveltuu pääasiallisesti keskijänniteverkkoon, jossa käytetään tyypillisesti useampia jännitetasoja standardin SFS-EN-50160 määrittelemissä rajoissa 1 kV:n ja 36 kV:n välillä. (SFS ry, 2010) Suomessa yleinen kansallinen keskijänniteverkon jännitetaso on 20 kV, joka on myös ainut Eleniassa käytössä oleva keskijännitetaso. Täten keskijänniteverkon jännitetason nostaminen energiatehokkuuden edistämiseksi ei ole Elenian osalta relevanttia, koska jännitetaso on jo lähtökohtaisesti kansallisen keskijänniteverkon jännitetason suuruinen. Jännitetason nostaminen yli 20 kV on teoriassa mahdollista, mutta edellyttäisi kuitenkin kohtuuttomia investointeja esimerkiksi uusien päämuuntajien osalta. Edelleen jännitetason poikkeavuus yleisestä kansallisesta tasosta olisi byrokraattisesti hyvin haasteellista, sillä esimerkiksi muuntajien markkinat Suomessa keskittyvät yleisimpiin käytössä oleviin jännitetasoihin.

Pienjännitteen osalta jännitetason nosto on myös teoriassa mahdollista, sillä Eleniassa on rakennettu perinteisen 0,4 kV jakelujännitteen lisäksi myös 1 kV jakelutekniikkaa. Käytännössä 1 kV jänniteportaan energiatehokkuuden vertailu suhteessa 0,4 kV:iin ei ole kuitenkaan mielekäästä, sillä lähtökohtaisesti 1 kV jakelutekniikkaa on rakennettu 20 kV:n keskijännitehaarajohtojen tilalle. Tällöin häviöt ovat yleensä itse asiassa kasvaneet suhteessa vaihtoehtoisen keskijännitehaaran häviöihin ja teknistaloudellinen hyöty on saavutettu lähinnä käyttövarmuuden paranemisen kautta. (Jääskeläinen, 2010) Toisaalta 1 kV jakelujännitteen rakentamisesta on käytännössä luovuttu, eikä uutta 1 kV jakelutekniikkaa ole tarkoitus nykytiedon perusteella rakentaa.

Edellä mainitun perusteella jännitetason nostaminen ei ole Eleniassa nykytilanteessa relevantti keino energiatehokkuuden edistämiseen, sillä lähtökohtaisesti käytössä olevan verkon jännitetasot ovat yleisen standardin mukaisia. Energiatehokkuuden raportoinnin näkökulmasta jännitetason nostaminen olisi myös hyvin haasteellista, sillä konkreettisten

energiämääraisten häviösäästölukujen selvittämiseksi verkon topologian tulisi säilyä muuttumattomana. Täten jännitetaso nostaminen tulisi kyseeseen ainoastaan tilanteissa, joissa jo käytössä olevan johto-osuuden jännitetasoa nostettaisiin, eikä tällaisia tilanteita todellisuudessa juurikaan esiinny. Tulevaisuuden osalta jännitetaso nostaminen voi kuitenkin olla potentiaalinen keino energiatehokkuuden edistämässä, kun DG:n yleistyessä nykyinen jännitetaso sallii DG-penetraation vain tietyille tasolle asti. Tällöin jännitetaso yläraja saattaa tulla nopeasti vastaan erityisesti pienjänniteverkossa, mikä voi osaltaan jarruttaa älykkään sähköverkon kehitystä. (Tractebel Engineering & Ecofys, 2015)

4.5 Järjestelmätason ohjaustoimenpiteet energiatehokkuuden edistämässä

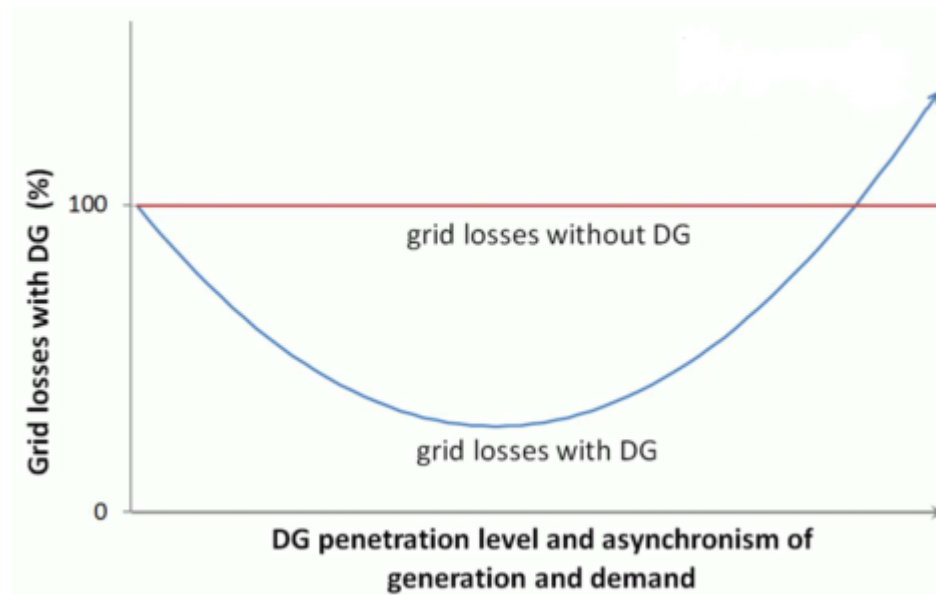
Perinteisen komponenttien korvaamisen ohella sähköverkon energiatehokkuutta voidaan edistää järjestelmätason ohjaustoimenpiteillä. Lähteen (Tractebel Engineering & Ecofys, 2015) mukaan järjestelmätason ohjaustoimenpiteillä tarkoitetaan sähkönkäytön ohjausta ja sähköverkon hallintaa, eli tavanomaisemmin sanottuna kysyntäjoustoa ja verkon käyttöä. Suomen jakeluverkon teknisten häviöiden ollessa Euroopan kärkitasoa verkkoyhtiöiden energiatehokkuuden edistäminen tulee tulevaisuudessa painottumaan yhä enemmän järjestelmätason ohjaustoimenpiteisiin. Luvuissa 4.5.1 ja 4.5.2 selvitetään kysyntäjouaston ja verkon käyttötoiminnan roolia jakeluverkon energiatehokkuuden edistämässä verkkoyhtiössä.

4.5.1 Verkon hajautettujen resurssien kontrollointi

Verkon hajautettujen resurssien kontrollointi tarkoittaa hajautetun tuotannon (DG), kysyntäjouaston (DR) ja energiavarastojen (ES) muodostamaa kontrolloitavaa kokonaisuutta. Toisin sanoen kyseessä on järjestelmä, jonka kautta sähkönkäyttö ja tätä kautta verkon energiatehokkuus pystytään kokonaisoptimoimaan. Tällöin verkon sähköntuotantoa sekä asiakkaiden sähkönkäyttöä ohjataan siten, että sähköntuotanto- ja siirto pystytään toteuttamaan ympäristöystävällisesti ja kustannustehokkaasti siirtämällä sähkönkäyttöä alhaisemman kysynnän tunneille. Sähköverkon energiatehokkuuden näkökulmasta hajautettujen resurssien kontrolloinnilla voidaan edistää energiatehokkuutta marginaalisia häviöitä vähentämällä (kuormitusprofiilien tasaaminen) ja sähkönsiirtomatkoja lyhentämällä (paikallinen energiantuotanto ja -kulutus).

Verkon hajautettujen resurssien kontrolloinnin mahdollistamaa sähköverkon energiatehokkuuden edistäminen riippuu pääasiallisesti kolmesta avaintekijästä: 1) spatiaalisesta- 2) temporaalisesta- ja 3) teknisestä yhteensopivuudesta. Spatiaalisessa yhteensopivuudessa on kyse hajautettujen resurssien ”tilaa koskevasta” yhteensopivuudesta eli siitä, kuinka lähellä tuotanto ja kulutus ovat toisiaan fyysisesti. Yleensä verkon energiatehokkuus on sitä parempi, mitä lähempänä DG tai ES ovat kulutuskohdetta. Vastaavasti tem-

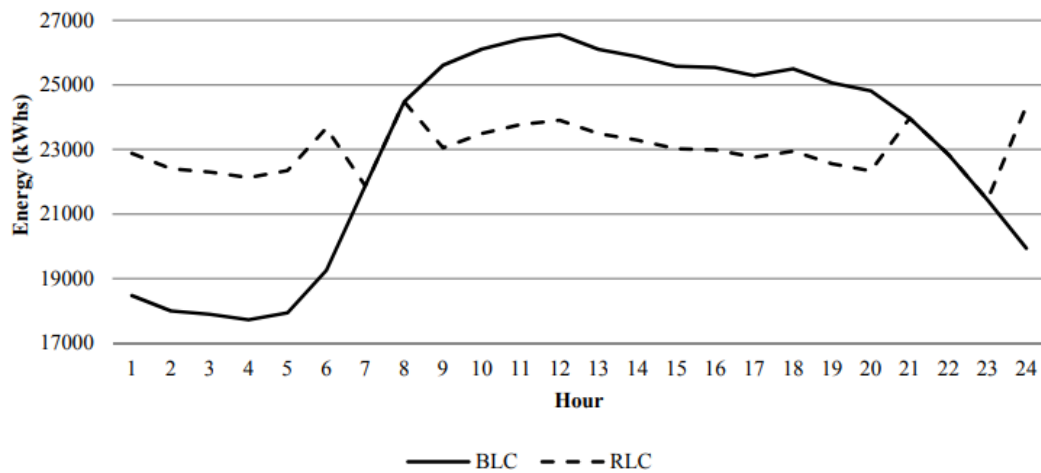
poraalinen yhteensopivuus kuvaa hajautetun resurssin ajallista yhteensopivuutta. Yleisesti verkon häviöt pienenevät DG-penetraatioasteen kasvaessa, kun johdon kuormitus pienenee DG:n tuottaessa osan sähkön kysyntätarpeesta. Toisaalta energiatehokkuus kehittyy verkon puolelta vain tiettyyn pisteeseen asti: DG-penetraatioasteen kasvaessa tiettyyn pisteeseen asti sähköntuotanto ylittää monesti hetkellisesti kysynnän, jolloin tehoa syötetään asiakkaan puolelta verkkoon. Tällaisessa tilanteessa energiatehokkuuden vaikutus heikkenee kuvan 4.8 mukaisesti ja saavuttaa lopulta energiatehokkuuden näkökulmasta jopa lähtötasoa heikommän tilanteen. (Tractebel Engineering & Ecofys, 2015)



Kuva 4.8 DG-penetraatioasteen vaikutus sähköverkon energiatehokkuuden kehittymiseen. (Heckmann et al., 2013)

Kuten kuvasta huomataan, verkon energiatehokkuus kehittyy DG:n penetraatioasteen kasvaessa tiettyyn pisteeseen asti. Toisaalta tilanteessa, jossa sähkönkysyntä on pientä, jopa verraten pieni DG-penetraatioaste saattaa aiheuttaa tilanteita, joissa verkon energiatehokkuus heikkenee. Sveitsissä tehdyn tutkimuksen mukaan (Bucher, 2014) tutkimuksen kohteena ollut sähköverkko oli energiatehokkuudeltaan optimaalisessa tilanteessa, kun aurinkopaneeleilla tuotetun energian penetraatioaste oli 25 prosenttia sähköverkossa kulutetusta kokonaisenergiasta. Tällöin sähköjakelun häviöt olivat jopa 20 prosenttia pienemmät, kuin ilman hajautettua tuotantoa. Vastaavasti penetraatioasteen ylittäessä 50 prosenttia verkon energiatehokkuus menee heikommaksi kuin tilanteessa, jossa DG:tä ei ole lainkaan verkkoon kytkettynä. Kolmas hajautettujen resurssien energiatehokkuuden avaintekijä on tekninen yhteensopivuus, joka tarkoittaa järjestelmän teknistä soveltuvuutta reagoida alati muuttuvaan kysyntä/tarjonta –suhteeseen. Esimerkiksi DG:n yhteyteen kytkettävät akut edistävät järjestelmän teknistä energiatehokkuutta, kun tiettyä ajanhetkenä tuotettu ylijäämäenergia pystytään hyödyntämään myöhempanä ajanhetkenä teknisen ratkaisun kautta.

DR vaikutusta verkkoyhtiöiden energiatehokkuuteen on tutkittu ruotsalaisessa Sala-Heby Energi Elnät AB verkkoyhtiössä. (Koliou et al., 2013) Tutkimuksessa analysoitiin kuormitusprofiilien tasoittamisen kautta saatavaa energiansäästöä. Tutkimus toteutettiin siten, että verkkoyhtiön etäluettavilta sähkömittareilta kerättiin tuntikohtaiset kuormitusdatat vuosien 2007 ja 2012 väliltä ja muodostettiin kuvan 4.9 mukainen peruskuormituskäyrä (BLC) päivän jokaiselle tunnille. Tämän jälkeen kuormituskäyrää simuloitiin siten, että 10 prosenttia huippukysynnän sähköntarpeesta (klo 9.00–20.00) siirrettiin pienemmän kysynnän ajalle (klo 23.00–8.00). Tällä tavoin saatiin muodostettua resultanttikuormituskäyrä (RLC).



Kuva 4.9 Energi Elnät AB verkkoyhtiön keskimääräiset päivittäiset kuormituskäyrät (Koliou et al., 2013)

Kuvassa 4.9 esitetyille kuormituskäyriä laskettiin tutkimuksessa esitetyn teorian mukaisesti häviöiden suuruudet, joiden kautta saatiin laskettua häviösäästön suuruus. Laskennan tulokseksi saatiin 4 prosentin lasku verkon häviöissä, kun 10 prosenttia huippukysynnän kuormituksesta siirrettiin pienemmän kysynnän aikaan. Todellisuudessa 4 prosentin häviöiden pienentäminen kuormitusprofiilin tasaamisen kautta on nykytekniikalla täysin mahdollista. Esimerkiksi hankkeessa ”The Model City Mannheim” (MVV Energie et al., 2013) tutkittiin älykkään ohjausjärjestelmän potentiaalia asiakkaan sähkönkäytön ohjauksessa. Hankkeessa tuhannen kotitalousasiakkaan sähkönkäyttöä ohjattiin kotiautomaation sekä älykkään energiapalvelun (Energy Butler) kautta. Pääasiallisesti asiakkaan sähkönkäyttöä ohjattiin dynaamisesti ja hintaperusteisesti. Projektin aikana asiakkaat siirsivät kulutustaan huipputunneilta pienemmän kuormituksen tunneille keskimäärin noin 11 prosentilla, mikä osoittaa kuormituskäyrien tasaamisen kautta saatavan 4 prosentin energiansäästöpotentiaalin ilmeiseksi.

Kysyntäjoustopalveluiden ja niihin liittyvien hankkeiden, kuten luvussa 3.2.4 esitellyn virtuaalivoimalaitos -projektin ollessa vasta kehitteillä hajautettujen resurssien kautta saa-

tavaa energiansäästövaikutusta on nykytilanteessa vaikea arvioida. Tulevaisuudessa kysyntäjoustopalveluiden vakioituessa häviösäästövaikutuksia voisi pyrkiä arvioimaan perus- ja resultanttikuormituskäyriä vertaamalla. Laskentamenetelmänä voitaisiin hyödyntää jo tutkimuksessa (Koliou et al., 2013) käytettyä laskentamenetelmää. Nykytekniikalla edellä esitetyn kaltainen laskenta on jo mahdollista ja tarkentuu lähitulevaisuudessa, kun tuntimittauksesta siirrytään mittaamaan 5 minuutin sarjaa. Laskennan kannalta suurin haaste lienee resultantti kuormituskäyrän muodostaminen.

4.5.2 Sähköverkon hallinta

Sähköverkon hallinnalla pystytään vaikuttamaan verkon energiatehokkuuteen ohjaamalla verkon kuormitusta automaatiikan ja käyttötekniisten toimenpiteiden kautta. Energiatehokkuuden näkökulmasta verkostoautomaatiolla tarkoitetaan pääasiallisesti loistehon kompensoinnin kautta pieneneviä loistehon siirron häviöitä. Vastaavasti käyttötekniiset toimenpiteet ovat verkkoyhtiön käyttökeskuksesta tehtäviä verkonohjaustoimenpiteitä, joilla verkon kytkentätilaa pystytään optimoimaan energiatehokkuuden edistämiseksi. Tässä luvussa arvioidaan verkkoyhtiön keinoja edistää sähkönjakelun energiatehokkuutta käyttötekniisten toimenpiteiden kautta. Tarkastelun ulkopuolelle jätetään maakaapeloinnista aiheutuvan kapasitiivisen loistehon kompensoinnin häviösäästövaikutus, sillä loistehon kompensointi ajatellaan maakaapeloinnin edellyttämänä ”teknisenä pakkona”.

Energiatehokkuutta pystytään edistämään käyttötekniisillä toimenpiteillä verkon kytkentätilaa ohjaamalla eli pääasiallisesti jakorajaoptimoinnin ja sähköasemien päämuuntajien välistä kuormitusta tasaamalla. Jakorajaoptimointi ja päämuuntajien kuormitukset suunnitellaan verkkoyhtiössä laskemalla verkkotietojärjestelmällä verkolle nk. peruskytkentätilanne, jossa kokonaisoptimoidaan verkon käyttövarmuus ja häviöt. Teoriassa verkkotopologian asettelujen kautta saatavia häviösäästöjä voitaisiin arvioida eri peruskytkentätilanteiden häviöitä vertaamalla. Peruskytkentätilanteiden välistä arviointia mutkistavat kuitenkin useat muuttujat, kuten kuormituksen kasvu ja verkon rakenteelliset muutokset, jotka vääristävät huomattavasti arvioinnin oikeellisuutta. Toisaalta yksittäisten kytkentätilanteiden muutosten energiansäästövaikutuksen laskeminen voi olla mahdollista ja kannattavaa, mikäli tunnistetaan relevantit ja pysyvät verkkotopologian muutokset. Tällöin laskenta on kuitenkin tehtävä tapauskohtaisesti.

Toisin kuin keskijänniteverkossa, suurjänniteverkossa (110 kV) kytkentätilanteet ovat melko pysyviä. Tämä mahdollistaa häviösäästöjen kohtuullisen tarkan arvioimisen tilanteissa, joissa 110 kV verkon peruskytkentätilannetta päivitetään. Toisaalta 110 kV verkon läpi syötetään myös huomattavasti isompia tehoja kuin keskijänniteverkossa, jolloin käyttötekniisten toimenpiteiden laskeminen saattaa mahdollistaa suuriakin häviösäästöjä. Esimerkiksi opinnäytteessä (Kohonen, 2017) arvioitiin jopa 3,2 GWh vuotuiset häviösäästöt, kun kaksi 110 kV säteittäistä johtolähtöä kytkettiin renkaaseen Turku Energian sähköverkossa. Tämä osoittaa, että häviösäästöjen laskeminen ja raportointi 110 kV verkon tasolta on kannattavaa, mikäli se vain on mahdollista.

Tämän diplomityön yhteydessä pyrittiin tunnistamaan häviösäästövaikutukseltaan potentiaalisin kytkentätilanteen muutoksen energiatehokkuustoimi Elenian verkossa häviösäästön suuruusluokan arvioimiseksi käynnissä olevalle sopimuskaudelle. Luvussa 5.3 on kuvattu esimerkinomainen laskentamenetelmä tilanteelle, jossa Hämeenlinnan alueella kaksi 110 kV säteittäistä johtolähtöä kytketään renkaaseen.

4.6 Verkkoyhtiöiden energiatehokkuustoiminnan edistämisen kehitystarpeet

Sähköverkkoyhtiöt ovat Suomessa luonnollisia monopoleja, joiden liiketoiminnan taloudellista ja teknistä kehitystä säädellään voimakkaasti kansallisen regulaation kautta. Lakeja ja verkkoliiketoiminnan valvontamallia voidaan pitää ensisijaisena ohjauskeinona verkkoyhtiöiden energiatehokkuusinvestointien osalta. Tyypillisesti energiatehokkuusinvestointeihin voidaan ohjata lakiperusteiden velvoitteiden kautta sekä kehittämällä erilaisia taloudellisia kannustimia ja sanktioita.

Suomessa verkkoyhtiöiden energiatehokkuutta on toistaiseksi ohjattu vapaaehtoisen sopimustoiminnan kautta. Energiatehokkuutta ei ole tähän mennessä viety osaksi energiamarkkinan regulaatiomallia, joten sähköverkon häviöiden suuruus määräytyy pääasiassa verkkoyhtiöiden teknistaloudellisten suunnittelukriteereiden perusteella. Näin ollen energiatehokkuutta voitaisiin merkittävästi edistää entisestään regulaatiomallia kehittämällä. Esimerkiksi Ruotsissa sähköverkkoliiketoiminnan regulaatiomallia päivitettiin verkkoyhtiöiden energiatehokkuustoiminnan tukemiseksi, joten energiatehokkuusdirektiivin toimenpanoon kannustetaan myös taloudellisin ajurein. (Wigenborg et al., 2016) Valvontajaksolle 2016–2019 voimaan tullut malli kannustaa verkkoyhtiöitä pienentämään häviöitä kahden erilaisen taloudellisen kannustimen kautta. Ensimmäinen kannustin perustuu regulaattorin salliman verkkoyhtiökohtaisen maksimituoton säätelyyn sähkönsiirron häviöiden kehittymisen perusteella. Maksimituottoa voidaan joko kasvattaa tai pienentää riippuen siitä mihin suuntaan häviöt kehittyvät. Kannustin on nk. ”teknologianeutraali” – ratkaisu, joten verkkoyhtiöt voivat itse päättää miten haluavat energiatehokkuuttaan edistää. Vastaavasti toinen kannustin perustuu sähköverkon hajautettujen resurssien kontrolloinnin mahdollistamaan energiatehokkuuden edistämiseen. Kannustimen myötä verkkoyhtiöitä sekä sen asiakkaita kannustetaan kysyntäjouston edistämiseen mm. kuormitusta tasaamalla sekä lisäämällä verkossa hajautetun tuotannon osuutta. Edellä mainittujen kannustimien soveltaminen Ruotsissa osana verkkoyhtiöiden regulaatiomallia on esitetty lähenteessä (Wigenborg et al., 2016).

Suomessa verkkoyhtiöiden energiatehokkuuden edistämisen potentiaalia on niin ikään käsitelty Lappeenrannan teknillisen yliopiston johtamassa tutkimushankkeessa (Honkarpuro et al., 2015). Tutkimuksen johtopäätöksissä todetaan, että Suomen sähköjärjestelmän kokonaishäviöiden ollessa muihin EU-maihin nähden erinomaisella tasolla, voidaan verkon häviöitä ensisijaisesti pienentää järjestelmätason energiatehokkuutta kehittämällä.

Toisin sanoen energiatehokkuutta tulisi pyrkiä edistämään lähtökohtaisesti luvussa 4.5.1 esitettyjen keinojen kautta eli kysyntäjoustoa ja sen yhteyteen nivoutuvaa teknologiaa, kuten akkuenergiavarastoja kehittämällä. Täten regulaatiomallia tulisi kehittää sellaiseksi, että se tukisi enenevässä määrin kysyntäjouston kehittämistä ja näin ollen verkko-yhtiöiden energiatehokkuustoimintaa. Hankkeen toimenpide-ehdotuksissa on esitetty kuusi toimenpide-ehdotusta, joiden avulla voitaisiin regulaation kautta edistää sähköverkon energiatehokkuutta. Keskeisenä havaintona todetaan, että energiatehokkuus pitäisi tuoda osaksi regulaatiomallia, jolloin esimerkiksi akkuenergiavarastot voitaisiin huomioida verkkoliiketoimintaan sitoutuneena pääomana.

5. SÄHKÖVERKON HÄVIÖSÄÄSTÖJEN LASKE- MINEN

Elenian omistamassa jakeluverkossa uusitaan vuosittain lukuisia verkostokomponentteja, jotka edistävät sähkönjakelun energiatehokkuutta. Tällaisia verkostokomponentteja ovat esimerkiksi sähköverkon johdot, jakelu- ja päämuuntajat sekä muut häviölähteet, kuten energiamittarit ja sähköasemien oheiskomponentit. Komponenttikorvausten häviösäästöjen laskemiseksi ei ole olemassa vakioituneita laskentamenetelmiä, joten tehokkaille verkostokomponenttien häviösäästölaskennan menetelmille on ilmeinen tarve.

Tässä luvussa selvitetään häviösäästölaskennan menetelmät jakeluverkon primäärikomponenttien korvaamisen kautta saavutettavan vuotuisen häviösäästön suuruuden arvioimiseksi. Häviösäästölaskennan menetelmät selvitetään pää- ja jakelumuuntajille sekä johtosaneerauksille eri jännitetasoilla. Lisäksi vuotuisen häviösäästön suuruus lasketaan myös Elenian verkossa tunnistetulle potentiaalisimmalle käyttötekniselle energiatehokkuustoimenpiteelle, jos Hämeenlinnan alueella kaksi säteittäistä 110 kV johtolähtöä kytetään renkaaseen.

5.1 Muuntajien häviösäästöjen laskeminen

Vuonna 2015 uudistuneen muuntajien ekosunnitteludirektiivin (Komission asetus 548, 2014) myötä Elenian jakeluverkkoon korvattavat uudet pää- ja jakelumuuntajat tuottavat lähes poikkeuksetta häviösäästöjä. Säävarma -maakaapelointiprojektien yhteydessä jakelumuuntajakorvauksia tehdään vuosittain satoja, ellei jopa tuhansia, joten kyseessä on merkittävä häviösäästöpotentiaali. Jakelumuuntajien ohella vuosittain uusitaan myös yksittäisiä sähköasemien päämuuntajia.

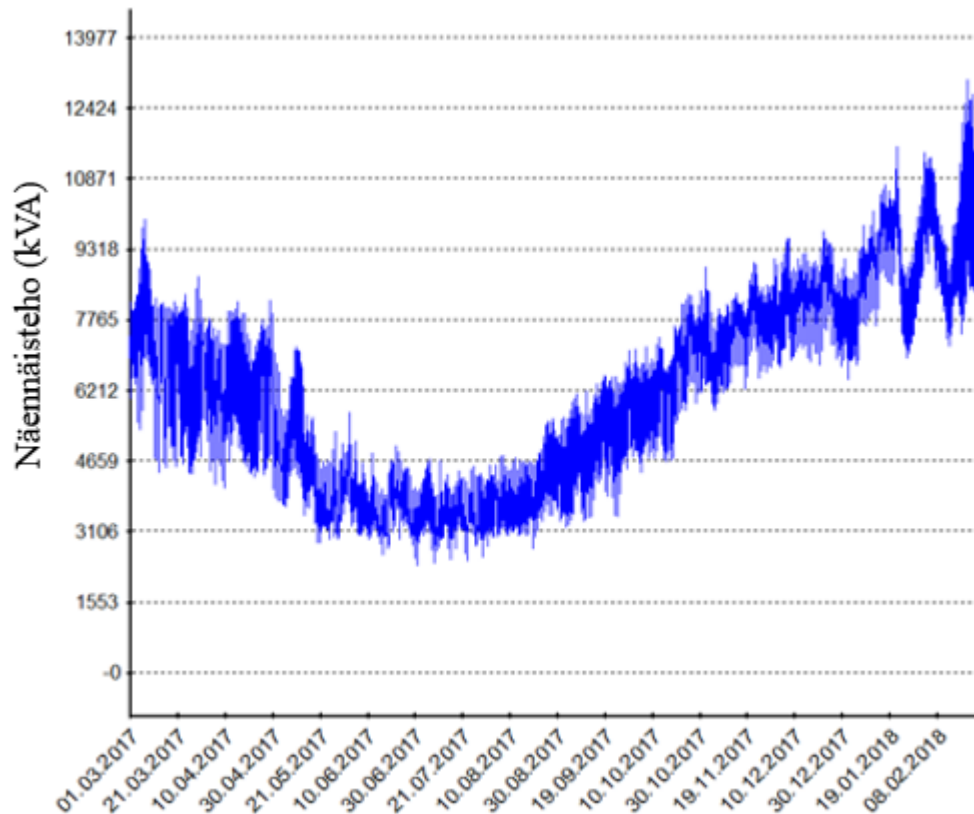
Pää- ja jakelumuuntajat ovat teknisesti samankaltaisia, mutta vuotuisten korvausmäärien suuren eroavaisuuden takia häviösäästölaskennassa sovelletaan erilaisia menettelytapoja. Päämuuntajakorvausten tapauksessa häviösäästölaskenta pystytään tekemään tapauskohtaisesti, kun taas jakelumuuntajien suuri korvausmäärä edellyttää kevyempää, suuremmalle kappalemäärälle soveltuvan laskentamenetelmän käyttöä. Luvussa 5.1.1 esitetään laskentamalli ja esimerkkilaskelma päämuuntajakorvauksen häviösäästön suuruuden arvioimiseksi. Vastaavasti luvussa 5.1.2 esitetään laskentamalli jakelumuuntajakorvausten vuotuisen häviösäästön suuruuden määrittämiseksi sekä lasketaan häviösäästöt vuonna 2017 korvattujen jakelumuuntajien osalta.

5.1.1 Päämuuntajat

Elenian verkossa on 194 päämuuntajaa, joiden keskimääräinen ikä on noin 20 vuotta. Vanhimmat päämuuntajat ovat jopa 50 vuotta vanhoja, joten ensimmäiset 1970-luvun vaihteessa asennetut päämuuntajat ovat jo laskennallisen elinkaarensa loppupäässä. Suurin osa päämuuntajista on jännitetasoltaan 110/20 kV, minkä lisäksi verkkoon on kytkettyä myös 45/20 kV päämuuntajia sekä yksittäinen 220/20 kV päämuuntaja. Päämuuntajia uusitaan ennalta määritetyn sähköasemien saneerausohjelman mukaisesti, jossa kunkin sähköaseman päämuuntajille on määritetty lähtökohtainen saneerausvuosi. Sähköasemille, jossa on käytössä kaksi päämuuntajaa, saneerausvuosi on määritetty ennakkoon ainoastaan vanhemmalle päämuuntajalle.

Vuosittain päämuuntajia uusitaan tyypillisesti yksittäisiä kappaleita, jolloin häviösäästö-laskenta pystytään tekemään päämuuntajakohtaisesti verkkotietojärjestelmästä saatavaa dataa hyödyntämällä. Luvun 4.3.2 teorian mukaisesti lasketaan päämuuntajakohtaiset vuotuiset tyhjäkäyntihäviöt suoraan niiden kilpiarvoista. Yhtälöstä (4) saadaan vuotuiset tyhjäkäyntihäviöt kertomalla kilpiarvojen mukainen tyhjäkäyntiteho vuoden tuntien lukumäärällä (8760 h). Tämänkaltaisen laskenta tehdään sekä korvattavalle että uudelle päämuuntajalle, minkä jälkeen vuotuinen tyhjäkäyntihäviösäästö saadaan vanhan ja uuden muuntajakoneen vuotuisten tyhjäkäyntihäviöiden erotuksena.

Kuormitushäviöiden osalta häviösäästön laskeminen on huomattavasti monimutkaisempaa häviöiden skaalautuessa kuormituksen neliöllisyyden perusteella. Tällöin päämuuntajan ei voida ajatella olevan kytkettynä ympäri vuoden (8760 h) verkkoon nimellisellä kuormitustehollaan, vaan tarkan laskentatuloksen saamiseksi hyödynnetään verkkotietojärjestelmästä saatavilla olevaa päämuuntajakohtaista tuntikohtaista kuormitusdataa. Vuoden tuntikohtaiset kuormitushäviöt saadaan laskettua syöttämällä luvun yhtälöön (5) vuoden jokaisen tunnin päämuuntajakohtainen näennäisteho sekä vakiona pysyvät päämuuntajan näennäisteho ja nimellinen kuormitusteho. Kuvassa 5.1 on esitettyä havainnollistava esimerkki Herttualan sähköaseman 25 MVA päämuuntajan kuormituksen jakautumisesta ajanjaksolla 01.03.2017–28.02.2018.



Kuva 5.1 Kangasalan Herttulan sähköaseman PT2 tehokuvaaja ajanjaksolta 01.03.2017–28.02.2018

Kuvan 5.1 tehokuvaaja on muodostettu verkkotietojärjestelmästä saatavan tuntikohtaisen kuormitusdatan perusteella. Kuten kuvasta huomataan, päämuuntajan kuormitus vaihtelee voimakkaasti vuoden aikana pääasiassa ilman lämpötilasta riippuen. Helmikuun pakkaskuukausilla kuormitus on korkeimmillaan jopa 5–6 kertainen heinäkuun alimpaan kuormitukseen nähden. Päämuuntajan kuormituksen vaihdellessa voimakkaasti myös kuormituksen neliöllisyyden mukaan skaalautuvat kuormitushäviöt vaihtelevat ajallisesti huomattavasti. Suurimman kuormituksen aikaan kuormitushäviöt muodostavat jopa kaksi kolmasosaa kokonaishäviöstä. Vastaavasti pienimmän kuormituksen aikaan tyhjäkäyntihäviöt korostuvat kuormitusasteen ollessa alimmillaan vain noin 10 prosenttia, jolloin kuormitushäviöiden osuus kokonaishäviöistä on vain 6 prosenttia.

Lasketaan esimerkkinä kuvitteellinen tilanne, jossa Herttulan sähköaseman 25 MVA päämuuntaja korvataan uudella energiatehokkaammalla päämuuntajalla. Käytetään lähtötietoina kuvassa 5.1 esitettyä päämuuntajakohtaista kuormitusdataa sekä käytössä olevan päämuuntajan kilpiarvoja. Uuden päämuuntajan osalta kilpiarvoina voidaan käyttää viime vuonna Rainion sähköasemalle asennetun 25 MVA päämuuntajan kilpiarvoja, jolloin tilanne vastaa hyvin todellisuutta. Taulukossa on esitettyä uuden ja vanhan päämuuntajan laskennassa käytetyt tiedot sekä häviöenergiat ja arvioitu häviöenergian kokonaissäästö.

Taulukko 5.1 Herttualan päämuuntajan vaihto uudempaan

Herttualan PT2 vaihto uudempaan			
	Nykyinen	Uudempi	Ero
Valmistumisvuosi	1974	2016	
Nimellisteho (MVA)	25	25	
Tyhjäkäyntihäviö (kW)	19,4	11,7	-7,7
Kuormitushäviö (kW)	118,4	147,6	29,2
Tyhjäkäyntihäviöenergia (MWh)	169,9	102,2	-67,7
Kuormitushäviöenergia (MWh)	69,9	87,2	17,3
Kokonaishäviöenergia (MWh)	239,9	189,4	<u>-51</u>

Lasketulla muutoksella häviöt vähenisivät noin 51 MWh vuodessa, joka vastaa noin 0,4 prosenttia Elenian 13,2 GWh häviösäästötavoitteesta vuoteen 2025 mennessä. Toisaalta päämuuntajien pitoaika on tyypillisesti pitkä, jopa 40 vuotta, joten säästöt kumuloituvat merkittävästi pidemmällä aikavälillä. Tällöin esimerkiksi käynnissä olevan sopimuskauden alussa vaihdettu päämuuntaja ehtisi tuottamaan yhteensä yli 400 MWh säästöt sopimuskauden aikana.

Päämuuntajien korvaamisessa tulee huomioida olosuhteiden vaikutus häviösäästön suuruuteen, sillä yksittäisen häviösäästön suuruus vaihtelee voimakkaasti tapauskohtaisesti. Edellä esitetystä esimerkistä huomataan, että lasketun häviösäästön määrä on peräisin ainoastaan uuden päämuuntajan pienemmästä tyhjäkäyntitehosta. Vastaavasti esimerkkitalanteessa päämuuntajan kuormitusteho kasvaa, jolloin vaikutus häviösäästöihin on negatiivinen. Negatiivisesta kuormitushäviöstä johtuen säästövaikutus olisikin huomattavasti pienempi tilanteessa, jossa sähköaseman päämuuntaja olisi suuremmassa kuormituksessa. Toisaalta päämuuntajan korvaustilanteessa, jossa sähköaseman kuormitus tiedettäisiin suuremmaksi, uusi päämuuntaja mitoitettaisiin kuormitustehon osalta optimaalisemmin luvussa 4.4.2 esitetyn TCO-ajattelumallin mukaisesti.

Päämuuntajien korvaamisen tapauskohtaisuus korostuu myös kahden tai kolmen päämuuntajan sähköasemilla. Tällaisia sähköasemia on Eleniassa yhteensä 26 kappaletta. Useamman päämuuntajan sähköasemilla päämuuntajan vaihto vaikuttaa mahdollisesti myös muiden päämuuntajien kuormitukseen esimerkiksi tilanteessa, jossa vanha 10 MVA päämuuntaja korvataan suuremmalla 25 MVA yksiköllä. Tällöin korvautuvan päämuuntajan kapasiteetti kasvaa huomattavasti, jolloin sähköaseman päämuuntajien välistä kuormitusta todennäköisesti tasataan häviöiden ja käyttövarmuuden optimoimiseksi. Tämänkaltaisessa korvaustilanteessa häviösäästöjen määrä tulee laskea koko sähköaseman häviöiden muutoksen näkökulmasta, kun muiden päämuuntajien kuormitushäviöt muuttuvat uuden päämuuntajahankinnan myötä.

5.1.2 Jakelumuuntajat

Elenian sähköverkossa on yli 20 000 jakelumuuntajaa, joista huomattava osa on tulossa hiljalleen teknisen elinkaarensa päähän. Säävarma -verkonrakennusprojektien yhteydessä vanhoja muuntajia uusitaan vuosittain yli tuhat kappaletta, joten korvattavat muuntajat edustavat merkittävää energiansäästöpotentiaalia. Vuonna 2009 voimaan tullut muuntajien ekosuunnitteludirektiivi ja häviöiden optimoiminen muuntajahankinnoissa takaavat, että uudet verkkoon asennettavat muuntajat ovat aiempaa energiatehokkaampia. Tässä luvussa selvitetään laskentamenetelmä jakelumuuntajien korvaamisen kautta saatavan vuosittaisten häviösäästöjen arvioimiseksi. Nykyinen energiatehokkuussopimuskausi on ollut voimassa vuoden 2017 alusta, joten käytetään laskennan parametreina vuonna 2017 korvattujen ja korvaavien muuntajien dataa. Vastaavanlainen laskenta voidaan tehdä jatkossa myös tulevana vuosina korvautuville ja korvaaville jakelumuuntajille, joista halutaan raportoida energiamääräisiä häviösäästöjä.

Vuonna 2017 Elenian jakeluverkkoon korvattiin yhteensä 1397 uutta energiatehokkaampaa jakelumuuntajaa. Kappalemäärän ollessa suuri jakelumuuntajille ei ole perusteltua tehdä tapauskohtaisia laskelmia häviösäästöjen määrittämiseksi, vaan laskenta tehdään kerralla suuremmalle kappalemäärälle. Laskennan parametreina hyödynnetään verkko-tietojärjestelmästä saatavia keskimääräisiä muuntajakokohtaisia kuormitustietoja sekä mallikirjastoon dokumentoituja ja valmistajan ilmoittamia kilpiarvoja. Taulukossa 5.2 on esitetty vuonna 2017 Elenian verkosta purettujen vanhojen jakelumuuntajien kappalemäärät ja keskimääräiset tehohäviötiedot muuntajakokoluokittain.

Taulukko 5.2 Vuonna 2017 Elenian sähköverkosta purettujen jakelumuuntajien keskimääräiset häviötehot ja kappalemäärät muuntajakokoluokittain.

Koko (kVA)	Lkm	Tyhjäkäyntihäviöt (W)	Kuormitushäviöt (W)
16	31	108	502
30	200	137	815
50	401	143	1091
100	332	232	1653
200	230	438	2584
315	123	552	3657
400	6	609	4378
500	64	775	5146
800	7	1076	7126
1000	3	1453	9267
Yhteensä	1397		

Vanhojen purettujen muuntajien tyhjäkäynti- ja kuormitushäviötehot määritettiin verkko-tietojärjestelmästä saatavan datan perusteella. Kullekin taulukossa 5.2 esitetylle muuntajakokoluokalle laskettiin keskimääräiset häviötehot, jotka edustavat häviösäästöjen laskennassa kilpiarvoja vanhoille jakelumuuntajille. Uusille korvaaville muuntajille vastaavat häviötehot saatiin valmistajan ilmoittamista kilpiarvotiedoista, jotka on esitetty taulukossa 5.3.

Taulukko 5.3 Vuonna 2017 Elenian sähköverkkoon asennettujen jakelumuuntajien keskimääräiset häviötehot muuntajakokoluokittain.

Koko (kVA)	Tyhjäkäyntihäviöt (W)	Kuormitushäviöt (W)
50	91	1001
100	65	1745
160	200	2238
250	285	3047
400	389	4221
630	580	6375
800	615	8049
1000	770	9560

Taulukoita 5.2 ja 5.3 vertaamalla huomataan, että lähtökohtaisesti häviösäästöt ovat peräisin uusien jakelumuuntajien pienemmistä tyhjäkäyntihäviöistä. Uusien jakelumuuntajien tapauksessa kuormitushäviöt saattavat olla muuntajakokoon suhteutettuna jopa suurempia kuin purettavilla muuntajilla. Kaikkien uusien verkkoon asennettavien muuntajien häviötehot ovat kuitenkin voimassa olevaa muuntajien ekosuunnitteludirektiiviä (Komission asetus 548, 2014) paremmalla tasolla. Muuntajakokoluokan 50 kVA osalta taulukon 5.3 mukaisissa häviötehoissa on huomioitu maasulkuvirran kompensointilaitteistoilla varustettujen jakelumuuntajien vaikutus nostavasti tyhjäkäyntihäviötehoon ja laskevasti

kuormitushäviötehoon. Muuntajatilaustietojen perusteella noin 30-35 prosenttia uusista 50 kVA jakelumuuntajista on kompensointimuuntajia, mikä huomioitiin laskemalla häviötehot 50 kVA muuntajakokoluokalle tämän hetkisen tilauskannan suhteessa.

Häviösäästölaskennassa käytettiin apuna luvussa 4.3.2 esitettyä yhtälöä (4) muuntajien vuotuisten häviöiden laskemiseksi. Yhtälöä jalostettiin siten, että sillä pystyttäisiin arvioimaan muuntajan korvaamisen kautta saatavaa vuotuista häviösäästöä eli vanhan ja uuden jakelumuuntajan välistä vuotuisten häviöiden erotusta:

$$W_{L,u} - W_{L,v} = \left((P_{0,v} - P_{0,u}) + L^2 P_{k,v} - \left(\frac{S_v}{S_u} \right) * L^2 * P_{k,u} \right) * 8760 h \quad (9)$$

jossa $W_{L,u} - W_{L,v}$ on yksittäisen muuntajavaihdon vuotuinen häviösäästön suuruus

$P_{0,v}$ on vanhan muuntajan tyhjäkäyntihäviöt

$P_{0,u}$ on uuden muuntajan tyhjäkäyntihäviöt

$P_{k,v}$ on vanhan muuntajan kuormitushäviöt

$P_{k,u}$ on uuden muuntajan kuormitushäviöt

L on vanhan muuntajan keskimääräinen kuormitusaste

$\frac{S_v}{S_u}$ on vanhan ja uuden muuntajan nimellistehtojen suhde (skaalauskerroin)

$8760 h$ on vuoden tuntien lukumäärä

Muuntajien tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöt saadaan edellä esitetyistä taulukoista 5.2 ja 5.3. Keskimääräiset muuntajakokoluokakohtaiset kuormitusasteet L saadaan verkkotietojärjestelmän laskennasta saatavan huippukuormitusasteen kautta skaalaamalla kyseinen arvo huipunkäyttöajan suhteessa. (Lakervi & Partanen, 2012) mukaan 20/0,4 kV jakelumuuntajien huipunkäyttöaika asettuu tyypillisesti välille 1000–4000 h, joten laskennassa huipunkäyttöaikana käytettiin rajojen keskiarvoa 2500 h. Tulokseksi saatiin keskimääräiset kuormitusasteet kullekin muuntajakokoluokalle, joiden keskiarvoksi tuli likimain 14 prosenttia. Elenian jakeluverkon tapauksessa laskennassa käytettävät keskimääräiset kuormitusasteet ovat hieman muiden EU-maiden vastaavia arvoja pienempiä jakeluverkon muuntajien keskimääräisen kuormitusasteen asettuessa EU-maissa keskiarvoisesti 18 prosentin tasolle. (Topalis et al., 2008)

Taulukosta 5.2 ja 5.3 huomataan, että vanhojen ja uusien muuntajien kokoluokat eroavat, joten erikokoisia jakelumuuntajia tullaan vaihtamaan keskenään. Tällöin jakelumuuntajien kuormitusaste tulee myös muuttumaan olennaisesti, mikä vaikuttaa osaltaan häviöihin kuormitushäviöiden suuruuden skaalautuessa kuormituksen suhteessa. Tämän vuoksi yhtälössä on mukana vanhan ja uuden muuntajan nimellistehtojen suhde, joka toimii laskennassa kuormitusasteen skaalauskerroina. Esimerkiksi tilanteessa, jossa vanha 50 kVA jakelumuuntaja korvataan 100 kVA uudella jakelumuuntajalla kuormitusaste käy-

tännössä puolittuu, mikä vaikuttaa alentavasti kuormitushäviöiden suuruuteen. Tyhjäkäyntihäviöiden osalta vastaavanlaista skaalausta ei tarvitse tehdä, sillä tyhjäkäyntihäviöt eivät ole kuormitushäviöiden tapaan kuormitusasteen suuruudesta riippuvaisia.

Eri muuntajakokoluokkien korvautuessa mahdollisesti eri kokoisilla uusilla muuntajakokoluokilla tarvittiin tietoja uusien ja vanhojen muuntajakokoluokkien keskinäisistä korvaussuhteista. Uusien ja vanhojen muuntajakokoluokkien keskinäisten korvaussuhteiden määrittämiseksi hyödynnettiin sähköverkkosuunnittelun tietoja, joiden avulla saatiin muodostettua taulukko 5.4.

Taulukko 5.4 Vuonna 2017 korvattujen jakelumuuntajien vuosittaiset häviösäästöt (MWh) muuntajakokoluokittain.

Uudet muuntajat

<i>Vanhat muuntajat</i>	Lkm	Koko (kVA)	50	100	160	250	400	630	800	1000
	31	16	6,8 (1)							
	200	30	98,9 (1)							
	401	50	151,7 (0,8)	63,6 (0,2)						
	332	100		384,2 (0,8)	26,1 (0,2)					
	230	200			261,3 (0,8)	67,1 (0,2)				
	123	315					176,2 (0,9)	1,0 (0,1)		
	6	400					9,4 (0,8)	0,6 (0,2)		
	64	500						106,9 (0,9)	10,7 (0,1)	
	0	630								
	7	800							22,0 (0,8)	3,9 (0,2)
	3	1000								17,7 (1)
	Yhteensä		257,4	447,8	287,4	67,1	185,6	108,5	32,7	21,6 <u>1408</u> (MWh)

Taulukkoa 5.4 luetaan siten, että vasemmassa sarakkeessa on esitetty vanhojen jakelumuuntajien lukumäärät muuntajakokoluokittain. Vastaavasti yläreunassa on esitetty uudet jakelumuuntajat kokoluokittain. Taulukossa suluissa esitetyt arvot edustavat kyseisten muuntajakokoluokkien välistä korvautuvuussuhdetta ja ylempi arvo kokoluokkien välisen muuntajakorvauksen kautta saavutettua vuosittaista energiamääräistä (MWh) häviösäästöä. Energiamääräinen häviösäästö saatiin laskemalla kunkin kokoluokan osalta muuntajakokohtainen häviösäästö yhtälöön (9) sijoittamalla ja kertomalla saatu tulos taulukossa esitetyllä muuntajien lukumäärällä ja korvautuvuussuhteella. Taulukon alimalla rivillä on esitetty yhteenlaskettu häviösäästöjen suuruus kunkin uuden muuntajakokoluokan osalta sekä alleviivattuna vuotuinen häviösäästön suuruus kaikkien korvattujen jakelumuuntajien osalta.

Laskennan tuloksena saatiin 1,4 GWh suuruinen vuotuinen häviösäästö vuonna 2017 korvattujen jakelumuuntajien osalta. Vuotuisen häviösäästön suuruus on yli kymmenesosa sopimuskaudelle määritetystä 13,2 GWh häviösäästötavoitteesta, joten jakelumuuntajien häviösäästövaikutusta voidaan pitää merkittävänä. Tässä työssä laskenta tehtiin ainoastaan jo vuonna 2017 korvatuille jakelumuuntajille, joka edustaa perusuran mukaan ainoastaan kahdeksasosaa koko sopimuskauden aikana tehtävistä jakelumuuntajakorvauksista. Laskenta osoittaa, että häviösäästölaskenta kannattaa tehdä jatkossa ainakin pienten muuntajakokoluokkien osalta, joita vaihdetaan lukumääräisesti paljon. Laskentatulosten mukaan kolme pienintä muuntajakokoluokkaa (50, 100 ja 160 kVA) edustavat yhteensä yli 70 prosenttia kaikista jakelumuuntajille lasketuista häviösäästöistä.

5.2 Johtosaneerauksen häviösäästön laskeminen

Tässä luvussa lasketaan sähköverkon johtosaneerausten kautta saavutettujen vuotuisten häviösäästöjen suuruuksia. Jakeluverkolle häviösäästölaskenta tehdään vuonna 2017 maakaapeloidulle ilmajohtoverkolle ja vastaavasti alueverkon osalta häviösäästölaskenta tehdään saneerausohjelman suunnitelman mukaisesti. Sähköverkon johtokorvausten häviösäästölaskennassa sovelletaan raportissa (Seppälä & Trygg, 2011) esitettyjä laskentamalleja ja tulkintoja. Jakeluverkon häviösäästölaskennan tuloksina saadaan energiamääräiset (MWh) vuotuiset häviösäästöt, jotka voidaan raportoida sellaisenaan vuoden 2019 energiatehokkuusraportoinnissa. Alueverkon osalta häviösäästölaskenta tehtiin vasta tulevaisuudessa toteutuville johtosaneerausprojekteille, joten ennen häviösäästöjen raportointia tulee varmistaa voimajohtoprojektien saneerausohjelman mukainen toteutuminen.

5.2.1 Keskijännitejohdot

Elenialla on omistuksessaan 25 210 kilometriä keskijännitteistä 20 kV jakeluverkkoa, josta merkittävä osa saneerataan vuosittain uudeksi maakaapeliverkoksi. Esimerkiksi vuonna 2017 uutta keskijännitteistä maakaapeliverkkoa rakennettiin yhteensä 1388 kilo-

metriä (Elenia Oy, 2018a), mikä edustaa energiatehokkuussopimustoiminnan näkökulmasta merkittävää häviösäästöpotentiaalia. Lähtökohtaisesti uutta maakaapeliverkkoa voidaan pitää saneerattavaa ilmajohtoverkkoa energiatehokkaampana, sillä johtosaneerauksien yhteydessä mitoitettavat johdinpoikkipinnat tulevat keskimäärin kasvamaan kuormituksen kasvuennusteista johtuen. Tässä luvussa esitetään häviösäästölaskennan tulokset vuonna 2017 puretun ja korvatun keskijänniteverkon osalta, jolle voidaan soveltaa luvussa 2.3.2 esitettyä korvausinvestoinnin määritelmää. Häviösäästölaskennan ulkopuolelle rajataan täysin uuden keskijänniteverkon rakentaminen, sillä poikkipinnan mitoittamiselle ei ole johtimien energiatehokkuuden näkökulmasta olemassa verrattavaa standardirajaa.

Keskijänniteverkon johtokorvausten häviösäästölaskenta päätettiin tehdä dokumentissa (Seppälä & Trygg, 2011) esitettyä materiaalimuutoksiin perustuvaa menetelmää soveltamalla. Materiaalimuutoksiin perustuvan laskentamenetelmän ratkaisevana etuna nähtiin se, että vuosittaiset häviösäästöt pystyttiin laskemaan kerralla yhdellä laskutoimituksella koko korvatulle johdinlajille. Teoriassa keskijänniteverkon häviösäästölaskenta olisi voitu toteuttaa myös samassa dokumentissa esitettyä verkostolaskentaan perustuvaa laskentamenetelmää soveltamalla. Keskijänniteverkon saneerausprojektien yksityiskohtaisuudesta johtuen verkostolaskennan menetelmä olisi vaatinut kuitenkin huomattavasti enemmän työtä ja satoja laskentakertoja koko keskijänniteverkon vuotuisten häviösäästöjen laskemiseksi. Materiaalimuutoksiin perustuvan laskentamenetelmän käyttö oli perusteltua myös siksi, että nykyiset verkkotietojärjestelmät (VTJ) eivät toistaiseksi tue olennaisesti energiatehokkuusraportointia.

Keskijänniteverkon häviösäästölaskennassa käytetty materiaalimuutoksiin perustuvan laskentamenetelmän yhtälö on kuvattu dokumentissa (Seppälä & Trygg, 2011). Menetelmä perustuu verkkokohtaisesti määritettyjen keskimääräisten suureiden käyttöön, jossa verkkoon asennettaviin ja purettaviin johtolajeihin liitetään seuraavanlaiset häviötiedot:

- Verkon keskimääräinen tehon neliö johdinlajeittain
- Uuden ja korvatun materiaalin vastaavuus
- Verkon laajennusten materiaalin erottaminen saneerauksista
- Korvattavien ja uusien johtolajien häviökertoimet

Edellä mainitut häviötiedot ovat saatavissa VTJ:stä, mutta varsinainen johtolajikohtainen häviösäästölaskenta tehtiin manuaalisesti taulukkolaskentaohjelmassa. Johtolajin vaihdon kautta saavutettava vuotuinen häviösäästö saatiin laskettua uuden ja vanhan johtolajin vuotuisten häviöenergioiden erotuksena yhtälöä (10) soveltamalla:

$$W_{ah} = (k_{h2} - k_{h1}) * l * E(P^2) * 8760 h \quad (10)$$

jossa W_{ah} on vuotuinen häviöenergia
 k_{h1} on vanhan johtolajin häviötehokerroin
 k_{h2} on uuden johtolajin häviötehokerroin
 l on puretun johtolajin pituus

$E(P^2)$ on johtolajin tehon neliön keskiarvo
8760 h on vuoden tuntien lukumäärä

Keskijänniteverkon johtolajien häviötehokertoimet saatiin suoraan verkostosuosituksen SA 5:94 (Sener, 1994) liitteestä 3.1 tai yhtälöön (11) sijoittamalla:

$$k_h = \frac{\rho}{U^2 * \cos^2 \varphi} \quad (11)$$

jossa k_h on johtolajin häviötehokerroin
 ρ on johtolajin ominaisresistanssi
 U on verkon nimellisjännite
 $\cos \varphi$ on arvioitu kuormituksen tehokerroin

Lähtökohtaisesti häviötehokertoimen määrittämisessä pyrittiin hyödyntämään verkostosuosituksen SA 5:94 valmista laskentataulukkoa tehokertoimen arvolla 0,95 ja verkon nimellisjännitteellä 20 kV. Elenian keskijänniteverkon tehokerroin saatiin laskettua verkostolaskennalla jakelumuuntajien kuormien perusteella ja tehokertoimen arvoksi saatiin likimain 0,96. Häviötehokertoimen määrittämisessä päädyttiin käyttämään tehokertoimen arvoa 0,95, joka oli lähin verkostosuosituksen SA 5:94 valmiissa laskentataulukossa esiintyvä tehokertoimen arvo. Muutamien johdinlajien osalta tehohäviökertoimet piti laskea yhtälöön (11) sijoittamalla, jolloin täytyi selvittää kyseisen johdinlajin ominaisresistanssi.

Keskijänniteverkon osalta johtolajikohtainen häviösäästölaskenta tehtiin kahdelletoista eniten puretulle johdinlajille. Todellisuudessa purettavaa ilmajohtoverkkoa korvataan tyypillisesti useammalla eri kokoisella johdinlajilla, joten kullekin puretulle ja korvaavalle johdinlajille määritettiin keskinäiset korvaussuhteet. Korvaussuhteiden arvioinnissa käytettiin jakelumuuntajien korvaamisen tapaan Elenian sähköverkkosuunnittelun tietoja, jotka perustuvat suunnittelijoiden arvioihin. Vuonna 2017 purettujen ja korvaavien keskijänniteverkon johtolajien keskinäiset korvaussuhteet ja vuotuiset häviösäästöjen suuruudet johtolajeittain on esitetty taulukossa 5.5.

Taulukko 5.5 Vuonna 2017 korvattujen keskijännitejohtojen vuotuiset häviösäästöt johdinlajeittain.

		Korvaavat johtolajit			
Pituus (km)	Johtolaji	AHX50	AHX95	AHX150	AHX240
272	Raven	- (0,2)	92,6 (0,55)	64,7 (0,25)	
193	Sparrow	9,5 (0,5)	19,0 (0,4)	5,8 (0,1)	
114	Pigeon		2,9 (0,3)	79,6 (0,5)	57,6 (0,2)
58	Swan	1,6 (0,5)	3,1 (0,4)	1,0 (0,1)	
44	PAS120		- (0,25)	35,2 (0,6)	21,0 (0,15)
37	Al132			- (0,4)	2,6 (0,6)
26	Fersem	1,8 (0,5)	1,9 (0,4)	0,5 (0,1)	
20	PAS70	- (0,4)	4,9 (0,5)	1,6 (0,1)	
18	PAS150			1,6 (0,4)	16,4 (0,6)
15	PAS95		0,6 (0,25)	6,7 (0,6)	2,8 (0,15)
4	PAS50	- (0,45)	0,1 (0,45)	- (0,1)	
3	Sem25	0,7 (0,5)	0,8 (0,4)	0,2 (0,1)	
Yhteensä		13,6	125,9	196,9	100,4
					<u>437</u> (MWh)

Purettavat johtolajit

Taulukkoa luetaan samalla logiikalla kuin jakelumuuntajien häviösäästölaskennan yhteydessä esitettyä taulukkoa 5.4. Taulukon vasemmassa sarakkeessa on esitettynä purettavat johdinlajit ja niiden purkauspituus. Vastaavasti yläreunassa on esitettynä uudet korvaavat johdinlajit. Taulukossa suluissa esitetty lukuarvot edustavat eri johdinlajien keskinäisiä korvaussuhteita ja yläpuolella olevat arvot ovat johdinlajin vaihdoille laskettuja vuotuisten häviösäästöjen suuruuksia (MWh). Häviösäästön lukuarvon tilalle laitettu viiva (-) tarkoittaa, ettei kyseisestä johdinkorvauksesta ole saavutettavissa häviösäästöjä tai häviösäästö on huomattavan pieni. Alimmalla rivillä esitetty tummennetut lukuarvot esittävät vuotuisten häviösäästöjen suuruutta kunkin korvaavan johdinlajin osalta ja alleviivattu arvo on kaikkien johdinlajien yhteenlaskettu vuotuinen häviösäästön suuruus. Esimerkiksi A1132 johtokorvauksen osalta taulukkoa voidaan tulkita siten, että kyseistä johtoa on korvattu AHX150 ja AHX240 johdinlajeilla suhteessa 0,4/0,6. Taulukosta huomataan, että A1132 korvaaminen AHX150 johdolla ei tuota lainkaan häviösäästöjä ja vastaavasti A1132 korvaaminen AHX240 johdolla tuottaa likimain 2,6 MWh vuotuiset häviösäästöt.

Vuonna 2017 keskijänniteverkkoa purettiin yhteensä noin 800 kilometrin edestä ja purettavan johto-osuuden osalta johtokorvauksille laskettiin yhteensä noin 437 MWh vuotuinen häviösäästövaikutus. Merkittävimmät häviösäästöt laskettiin Raven ja Pigeon -johtokorvauksille, jotka edustavat yhteensä yli kahta kolmasosaa koko keskijänniteverkon johtosaneerauksille lasketuista häviösäästöistä. Vuonna 2017 toteutetut keskijänniteverkon johtosaneeraukset kattavat Elenialle asetetusta 13,2 GWh energiatehokkuustavoitteesta yhteensä noin 3,3 prosenttia. Laskentatulokset osoittaa, että keskijänniteverkon ilmajohtojen kaapelointi on potentiaalinen energiatehokkuustoimi erityisesti pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna. Sähkömarkkinalain (Sähkömarkkinalaki 588, 2013) käytännössä velvoittama jakeluverkkojen maakaapelointitrendi tulee jatkumaan verkkoyhtiöissä vielä ainakin seuraavat kymmenen vuotta, joten keskijänniteverkon johtosaneerauksien osalta häviösäästöjä on odotettavissa myös lähitulevaisuudessa.

5.2.2 Pienjännitejohdot

Elenian pienjänniteverkon verkkopituus on 43 450 kilometriä, josta maakaapeliverkon osuus on lähes 48 prosenttia. Keskijänniteverkon tapaan myös pienjänniteverkkoa kaapeloidaan maan alle Elenia -säätövarma projektien tiimoilta. Esimerkiksi vuonna 2017 uusia pienjänniteisiä maakaapeleita rakennettiin 1657 kilometrin edestä. Keskijänniteverkon ilmajohtojen tapaan myös pienjänniteverkon maakaapeloinnissa johtojen poikkipinnat kasvavat keskimääräisesti kuormituksen kasvuennusteiden seurauksena. Tässä luvussa selvitetään pienjänniteverkon johtosaneerauksien häviösäästölaskelmat vuonna 2017 purettun pienjänniteverkon osalta, jolle voidaan soveltaa luvun 2.3.2 mukaista korvausinvestoinnin määritelmää.

Häviösäästölaskenta tehtiin pienjänniteverkon johtokorvauksille samalla laskentamenetelmällä kuin keskijänniteverkolle. Laskentamenetelmä on kuvattu luvussa 5.2.1. Keskijänniteverkon tapaan myös pienjänniteverkon häviökertoimien määrittämisessä käytettiin tehokertoimen arvoa 0,95, joka vastasi täysin verkostolaskennalla saatua pienjänniteverkon tehokertoimen arvoa. Johtolajien häviökertoimen arvot saatiin myös tässä tapauksessa dokumentista (Seppälä & Trygg, 2011), mutta 2-AMKA johtojen osalta häviökertoimien määrittäminen piti laskea erikseen yhtälöä (11) soveltamalla.

Pienjänniteverkon johtokorvauksille muodostettiin samanlainen keskinäisiin korvaussuhteisiin perustuva taulukko kuin keskijänniteverkon johtokorvauksille. Häviösäästölaskenta tehtiin kymmenelle eniten korvatulle johtolajille ja keskinäisten korvaussuhteiden määrittämisessä käytettiin jakelumuuntajien ja keskijännitejohtojen korvausten tapaan sähköverkkosuunnittelijoiden arvioihin perustuvia tietoja. Vuonna 2017 purettujen ja korvaavien pienjänniteverkon johtolajien keskinäiset korvaussuhteet ja lasketut vuotuiset häviösäästöjen suuruudet johtolajeittain on esitetty taulukossa 5.6.

Taulukko 5.6 Vuonna 2017 korvattujen pienjännitejohtojen vuotuiset häviösäästöt johdinlajeittain.

		Korvaavat johtolajit				
Pituus (km)	Johtolaji	AX25	AX50	AX95	AX150	AX240
359	AMKA 3x35+50	- (0,1)	195,8 (0,4)	535,0 (0,45)	71,7 (0,05)	
207	AMKA 3x70+95			243,4 (0,45)	470,6 (0,45)	146,7 (0,1)
184	AMKA 3x25+35	- (0,6)	80,8 (0,25)	76,4 (0,15)		
99	AMKA 3x50+70	- (0,1)	- (0,4)	192,4 (0,45)	28,9 (0,05)	
86	AMKA 3x16+25	85,1 (0,6)	63,4 (0,25)	47,7 (0,15)		
28	Sparrow	- (0,1)	10,9 (0,4)	31,5 (0,45)	4,2 (0,05)	
22	Swan	4,0 (0,6)	7,6 (0,25)	6,6 (0,15)		
17	AMKA 3x120+95			- (0,1)	20,2 (0,5)	51,6 (0,4)
2	2-AMKA 3x35+50	- (0,1)	- (0,4)	5,8 (0,45)	1,5 (0,05)	
2	2-AMKA 3x70+95			- (0,45)	- (0,45)	1,1 (0,1)
Yhteensä		89,1	358,5	1138,8	597,1	199,4
						<u>2383</u> (MWh)

Purettavat johtolajit

Taulukkoa 5.6 luetaan samalla tavalla kuin keskijännitejohtokorvauksille tehtyä vastaavaa taulukkoa 5.5. Taulukon vasemmanpuolisessa sarakkeessa on esitettyä pienjänniteverkon purettavat johtolajit ja purkauspituudet. Vastaavasti taulukon ylärivillä on esitettyä korvaavat johdinlajit. Taulukon sisäkentissä olevat arvot edustavat kyseisten johtokor-

vausten keskinäistä vuotuisten häviösäästön suuruutta ja suluissa esitetty arvo kuvaa johtolajien keskinäistä korvaussuhdetta. Mikäli lukuarvon kohdalla on esitetty viiva (-), on kyseisen johtokorvaus häviösäästövaikutukseltaan negatiivinen tai hyvin pieni.

Vuonna 2017 pienjänniteverkkoa purettiin yhteensä 1006 kilometrin edestä, joten johtosaneerausten vuotuiset häviösäästöt laskettiin tälle johto-osuudelle. Vuotuisen häviösäästön suuruudeksi laskettiin noin 2,4 GWh, joka kattaa voimassa olevasta sopimustavoitteesta lähes viidenneksen. Laskentatulokset osoittaa, että pienjänniteverkon ilmajohtojen maakaapelointi tuottaa kilometriä kohden lähes nelinkertaiset säästöt keskijänniteverkon verrattuna. Pienjänniteverkon johtosaneerauksien suuremmat häviösäästöt johtuvat pääasiassa pienjänniteverkon suuremmista kuormitusvirroista suhteessa siirrettyyn tehoon.

5.2.3 110 kV:n siirtojohdot

Elenialla on omistuksessaan 1516 kilometriä suurjännitteistä jakeluverkkoa eli niin kutsuttua alueverkkoa. Elenian alueverkko koostuu 110 kV ja 45 kV jännitetasoista, joiden vastaavat johtopituudet ovat 1151 ja 365 kilometriä. (Elenia Oy, 2018b) Alueverkolle ei ole olemassa virallista määritelmää, mutta se toimii usein joko siirto- tai jakeluverkon roolissa mahdollistaen näin energiatehokkaan sähkönsiirron kantaverkon ja perinteisen jakeluverkon välillä. (Bastman, 2011) Tyypillisesti alueverkon läpi syötetään verkkoyhtiön sähkönjakelusta vastaavia 110/20 kV ja 45/20 kV sähköasemia sekä edelleen keskijänniteverkkoa, joten voimajohtojen läpi siirretyt vuotuiset tehot ovat huomattavia ja korostuvat verkkoyhtiön energiatehokkuuden edistämisen näkökulmasta. Tässä luvussa tarkastellaan 110 kV alueverkon johtosaneerausohjelman kautta saavutettavaa vuotuista energiansäästöpotentiaalia voimassa olevan energiatehokkuussopimuksen aikana. Häviösäästöjen tarkastelun ulkopuolelle rajataan 45 kV alueverkko, jolle ei ole tällä hetkellä vielä vastaavanlaista saneerausohjelmaa tehtynä.

Alueverkon saneerausohjelmassa on määritetty vuosina 2019–2028 Elenian 110 kV alueverkossa käynnistyvät saneerausprojektit. Saneerausohjelmassa on esitetty vuosittain saneerattavat johto-osuudet ja niiden pituudet sekä jaksotettu rakennusohjelmavuosi. Tässä diplomityössä laskettiin vuotuisten häviösäästöjen suuruus rakennusohjelmavuosien 2019–2025 johtosaneerauksille, joiden häviösäästöt ehtivät vielä mukaan käynnissä olevan sopimuksen energiatehokkuusraportointiin. Saneerattavien johto-osien valmistumisajat eivät olleet tarkkaan ennakkoon määritettävissä, joten saneerauksien valmistumisajankohdaksi päätettiin voimajohtoasiantuntijan arvion perusteella aina kyseisen rakennusohjelmavuoden loppuun mennessä. Tyypillisesti voimajohtojen rakennushankkeet saattavat kestää useampia vuosia, joten pidempien johtosaneerauksien osalta häviösäästöjen alkamisajankohdat jaksotettiin useammalle vuodelle.

Vuosien 2019–2025 välillä Elenian alueverkkoa saneerataan yhteensä lähes 200 kilometrin edestä. Alueverkon saneerauskohteet ovat johto-osakohtaisia rakennusprojekteja, joten häviösäästölaskennat tehtiin johto-osakohtaisesti verkkotietojärjestelmän tehonjakolaskennalla. Tehonjakolaskennan tuloksena saatiin vuotuisten verkostohäviöiden suuruudet valitulla johdinrakenteella ja tämän hetkiselällä verkon kuormituksella. Häviösäästölaskennat tehtiin ensiksi nykyisellä käytössä olevalla johdinrakenteella, minkä jälkeen vastaavanlainen laskenta tehtiin uudella korvaavalla johdinrakenteella. Vuotuisten häviösäästöjen suuruudet saatiin valittujen johdinrakenteiden vuotuisten häviöiden erotuksena. Tämän jälkeen vuotuisten häviösäästöjen suuruudet laskettiin yhteen ja koottiin energiatehokkuusraportointia varten esitettävään muotoon taulukkoon 5.7.

Taulukko 5.7 Alueverkon saneerausohjelman kautta saavutettava vuotuinen häviösäästön suuruus vuosina 2019–2025.

Vuosi	Johtopituus (km)	Häviösäästö (MWh)	Voimassa oleva häviösäästö (MWh)
2019	31	661	661
2020	20	970	1631
2021	31	955	2586
2022	49	1017	3603
2023	35	727	4331
2024	15	300	4630
2025	15	336	4966
Yhteensä	196	4966	4966

Taulukossa 5.7 on esitetty vuosien 2019–2025 aikana realisoituvien 110 kV alueverkon saneerausprojektien yhteenlaskettu johtopituus ja kyseisten vuosien aikana toteutettavien saneerausprojektien vuotuinen häviösäästövaikutus. Oikeanpuolimmaisessa sarakkeessa on esitetty johtosaneerauksien kautta saavutettava voimassa olevan häviösäästön suuruus sopimuskauden eri vuosina. Voimajohtosaneerauksien eliniäksi voidaan käyttää tyyppillistä verkostokomponenttien pitoaikaa 40 vuotta (Energiavirasto, 2015), joten kaikki taulukossa määritetyt alueverkon vuotuiset häviösäästöt ovat voimassa sopimuskauden päättyessä vuonna 2025. Kaikki sopimuskauden aikana toteutettavat 110 kV alueverkon saneerausprojektit tuottavat sopimuskauden päättyessä yhteensä noin 4,97 GWh vuotuiset häviösäästöt.

Ensimmäiset 110 kV alueverkon häviösäästöt realisoituvat vuodesta 2019 eteenpäin, kun vuoden 2018 aikana käynnistynyt voimajohdon saneerausprojekti Nivala–Haapajärvi saadaan päätökseen. Voimajohtosaneeraukselle laskettiin 661 MWh suuruinen vuotuinen häviösäästö. Kyseisessä alueverkon saneerausprojektissa vanhaa Ostrich-177 voimajohtoa uusitaan 31 kilometrin edestä uudella Duck-344x2 johdinrakenteella.

Vuoden 2020 saneerausprojektien vuotuisten häviösäästöjen suuruudeksi laskettiin 970 MWh ja häviösäästöt ovat peräisin kahdesta eri voimajohtosaneerauksesta. Vuoden 2019

aikana osittain valmistuvaksi arvioidusta Kangasala-Herttuala voimajohtosaneerauksesta laskettiin 78,0 MWh suuruinen häviösäästö, kun nykyiset Ibis-201 voimajohdot korvataan Duck-344x2 voimajohdoilla 3,9 kilometrin matkalta. Toinen osa Kangasala-Herttuala voimajohtosaneerauksesta käynnistyy vuonna 2023. Suurimmat häviösäästöt 892,3 MWh laskettiin Tampella Oy–Joutsa voimajohtosaneerauksesta, joka valmistuu puolittain vuoden 2019 loppuun mennessä. Saneerausprojektissa vanhoja Vaasa-133 ja Piper-187 voimajohtoja korvataan yhteensä 16,5 kilometrin matkalta uudella Duck-344x2 johdinrakenteella.

Vuosien 2020–2021 välillä alueverkossa valmistuu neljä voimajohtojen saneerausprojektiä, joiden yhteenlaskettu vuotuinen häviösäästövaikutus vuodesta 2021 eteenpäin on 955 MWh. Suurimmat vuotuiset häviösäästöt 484 MWh ovat peräisin aikaisemmin mainitusta Tampella Oy–Joutsa voimajohtohankkeesta, kun loppupuolisko uudesta voimajohdosta rakennetaan valmiiksi. Lähes yhtä suuri vuotuinen häviösäästön suuruus 465,6 MWh laskettiin Tikinmaa–Forssa saneerausprojektille, jossa uusi Duck-344x2 voimajohto tulee korvaamaan vanhaa Ostrich-177 -voimajohtoa 11,7 kilometrin matkalta. Edellisen tapaan myös Tikinmaa–Forssa voimajohdon saneerausprojekti valmistuu kahdessa osassa vuosina 2021 ja 2022. Verraten pienet häviösäästöt laskettiin Jussinkangas–Ruukki ja Hikiä–Vanaja alueverkon saneerausprojekteille, joista saadaan 2,1 ja 0,6 MWh:n suuruiset vuotuiset häviösäästöt.

Vuodelle 2022 laskettiin yhteensä 1017 MWh vuotuiset häviösäästöt, jotka ovat peräisin kahdesta alueverkon saneerausprojektista. Vuosien 2021–2022 välillä loppuosa Tikinmaa–Forssa voimajohdon saneerausprojektista saadaan valmiiksi tuottaen vuotuiset 43,8 MWh häviösäästöt. Suurin osa häviösäästöistä 1017,4 MWh saadaan vuoden 2021 aikana käynnistyvistä Koivisto–Viitasaari voimajohdon saneerausprojektista, jossa johto-osuuden alkupään vanhaa Ostrich-177 voimajohtoa uusitaan Duck-344x2 voimajohdolla kyseisen vuoden aikana 26,5 kilometrin edestä. Koivisto–Viitasaari alueverkon saneerausprojektin toinen osa käynnistyy saneerausohjelman mukaan vuonna 2022, joten loppuosa johto-osuuden vuotuisista häviösäästöistä raportoidaan vasta vuodesta 2023 eteenpäin.

Vuoden 2023 vuotuisen häviösäästön suuruudeksi laskettiin 727,3 MWh. Vuotuiset häviösäästöt 681,3 ja 46,0 MWh muodostuvat kahden alueverkon saneerausprojektin kautta, kun loppuosat Koivisto–Viitasaari ja Kangasala–Herttuala saneerausprojekteista saadaan valmiiksi. Vuosien 2022–2023 välillä edellä mainittuja johto-osuuksia saneerataan 28,4 ja 6,5 kilometrin edestä.

Vuosien 2024 ja 2025 osalta alueverkon saneerausprojektien kautta saavutettavat häviösäästöt muodostuvat 30,6 kilometrin pituisen Vanaja–Salpakangas voimajohto-osuuden uusimisesta Vanajan ja Lammin 110/20 kV sähköasemien välillä. Saneerausohjelman mukaan sähköasemien välinen johto-osuus uusitaan kahdessa osassa siten, että johto-osuuden alkupään ensimmäinen puolisko 15,3 km uusitaan vuonna 2024 ja toinen puolisko 15,3 km vuonna 2025. Saneerausprojektissa nykyinen asemien välinen voimajohto-

osuus Hawk-281 korvataan Duck-344x2 johdinrakenteella, jolloin tehonjakolaskennalla saadaan vuoden 2024 häviösäästöjen suuruudeksi 299,5 MWh ja vuoden 2025 osalta 336,3 MWh. Saneerausprojekti jatkuu edelleen tuleville vuosille 2026–2028, jolloin voimajohtoa saneerataan myös Lammi–Kurhila–Sipilä–Heikkilä–Kuhmoinen sähköasemaväliltä. Näille voimajohto-osuuksille ei toistaiseksi lasketa häviösäästövaikutuksen suuruutta, sillä kyseiset saneeraukset eivät ole raportoitavissa tällä energiatehokkuussopimuskaudella.

Elenian 110 kV alueverkon saneerausprojektit mahdollistavat energiatehokkuussopimuskaudelle 2017–2025 yhteensä lähes 5 GWh vuotuiset häviösäästöt nykyisellä alueverkon kuormitustilanteella. Kokonaisuudessaan 110 kV alueverkkoa saneerataan sopimuskauden aikana lähes 200 kilometrin edestä. Sopimuksessa määritetyn 13,2 GWh säästötavoitteen saavuttamisen kannalta saneerausprojektien varsinaisella valmistumisajankohdalla ei ole merkitystä, kunhan esitetyt projektit vain valmistuvat sopimuskauden sisällä ja ovat voimassa sopimuskauden päättyessä vuonna 2025.

5.3 Hämeenlinnan 110 kV:n rengas

Arviolta vuosien 2020–2022 aikana Elenian verkossa on tarkoituksena ottaa käyttöön uusi suurjänniteverkon rengasyhteys, kun kaksi 110 kV johtolähtöä tullaan kytkemään renkaaseen Hämeenlinnan alueella. Rengasyhteys tulee tasoittamaan kuormia johtojen kesken, mikä näin ollen pienentää myös oleellisesti johtojen siirtohäviöitä. Nykytilanteessa sähköasemien Paroinen–Luolaja välillä kulkeva 110 kV johto on kiinni Kihtersuon sähköasemalla Fingridin Vanaja–Tikinmaa johdossa. Lähitulevaisuudessa johto on tarkoitus kytkeä renkaaseen siten, että samainen johto kulkee Vanajan ja Suosaaren sähköasemien kautta edelleen Paroisten ja Luolajan sähköasemille. Verkkotopologian muutokset on kuvattu liitteessä A.

Laskettiin häviösäästövaikutus Hämeenlinnan alueen 110 kV:n verkolle, kun kaksi säteittäistä johtolähtöä kytkettiin renkaaseen. Rengaskytken vaikutus kokonaishäviöiden määrään saatiin laskettua kertomalla molempien kytkentätilanteiden aikainen huippukuorman aikainen pätötehohäviö johto-osittain Fingridin kantaverkkosopimuksessa jakeluverkon liittymispisteelle määritetyllä huipunkäyttöajalla 5000 tuntia. Laskennan lähtöparametrit ja häviösäästölaskennan tulos on esitetty taulukossa 5.8.

Taulukko 5.8 Hämeenlinnan 110 kV:n rengasyhteyden vuotuinen häviösäästö

	Häviöteho (kW)	Häviöenergia (kWh/a)
Vanaja–Suosaari–Luolaja voima-johto	61,1	305502
Kihtersuo–Paroinen–Luolaja voima-johto	23,2	116219
Hämeenlinnan rengasverkko	81,7	408268
Häviösäästö	2,7	13453

Hämeenlinnan rengaskytken käyttö säästäisi vuosittain arviolta 13,5 MWh sähkönsiirron häviöitä. Häviösäästön suuruus on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi Turku energialle lasketussa Huhkolan 110 kV:n rengasyhteyden käyttöönotossa (Kohonen, 2017), jossa arvioitiin jopa 3,2 GWh vuosittaiset pätötehohäviösäästöt. Laskennan tulos osoittaa kuitenkin, että 110 kV verkkotopologian muutoksien häviösäästövaikutus laskeminen on tapauskohtaisesti kannattavaa. Esimerkin kaltainen rengasyhteyden häviösäästön laskeminen oli kohtuullisen yksinkertainen toimenpide verkkotietojärjestelmän karttapohjan ja laskentatyökalun avulla. Johto-osakohtaiset huippukuorman aikaiset pätötehohäviöt saatiin laskettua verkkotietojärjestelmästä suoraan taulukkolaskentaohjelmaan, jossa häviösäästön laskenta pystyttiin suorittamaan manuaalisesti loppuun.

Hämeenlinnan rengaskytken osalta häviösäästöjen suuruutta ei voida vielä toistaiseksi raportoida energiatehokkuusraportointijärjestelmään. Rengasverkko rakentuu osissa siten, että varsinaiset voimajohtomuutokset valmistuvat ensimmäisenä. Johtojen rengaskäyttö edellyttää kuitenkin myös sähköasemien suojamuutoksia sekä viestiyhteyksien rakentamista, joten rengasta käytetään aluksi säteittäisesti, kunnes kaikki tarvittavat muutokset on tehty. Edellä laskettu häviösäästö voidaan todennäköisesti raportoida sellaiseen rengasyhteyden käyttöönoton myötä käyttöteknisenä toimenpiteenä, jonka lähtökohtainen elinikä on kaksi vuotta.

5.4 Laskentatulosten arviointi

Sähköverkon häviösäästöjen laskennassa sovellettiin dokumentissa (Seppälä & Trygg, 2011) esitettyjä verkostolaskentaan ja materiaaliin perustuvia laskentamenetelmiä sekä tutkimusperäistä tietoa. Laskennan parametreinä käytettiin paljon erilaista sähköverkosta saatavaa dataa ja tehtiin joitakin laskentaa helpottavia oletuksia. Valitusta las-

kentamenetelmästä riippuen laskenta sisältää myös aina jonkin verran virhettä ja epävarmuustekijöitä, joiden vaikutusta arvioidaan luvuissa 5.4.1–5.4.4. Tässä diplomityössä tehdyn kaltaista häviösäästölaskentaa ei ole julkisesti käytössä missään muussa verkko-yhtiössä, joten vertailukohtien puuttuessa laskentatulosten arviointi rajataan pohdinnan tasolle.

5.4.1 Päämuuntajat

Päämuuntajia vaihdetaan vuosittain yksittäisiä kappaleita, jolloin häviösäästölaskenta pystytään tekemään tapauskohtaisesti. Luvussa 4.3.2 esitetty yhtälö (5) mahdollistaa häviösäästölaskennassa häviöiden suuruuden arvioinnin tuntikohtaisella tarkkuudella, jolloin laskentaa voidaan pitää nykyisellä mittaustekniikalla tarkimpana häviösäästöjen arviointimenetelmänä. Tyhjäkäyntihäviöiden osalta laskentaa voidaan pitää tarkkana, sillä tyhjäkäyntihäviöt ovat kuormituksesta riippumattomia häviöitä, jotka ovat vuoden jokaisena tuntina vakiot. Valmistajan ilmoittamista kilpiarvoista saadaan uusien päämuuntajien tarkat tyhjäkäyntihäviötiedot ja vanhan päämuuntajan vastaavat tiedot saadaan verkkotietojärjestelmän dokumentaatiosta. Vanhan päämuuntajan tyhjäkäyntihäviöiden näkökulmasta häviösäästöjen laskennassa saattaa esiintyä kuitenkin pientä epätarkkuutta, mikäli verkkotietojärjestelmän dokumentaatio on puutteellista.

Päämuuntajan kuormitushäviöiden häviösäästövaikutusten arvioiminen on huomattavasti tyhjäkäyntihäviöitä vaikeampaa ja muodostaa siten myös laskentavirheiden riskejä. Päämuuntajien häviösäästölaskennan esimerkissä Herttulan sähköaseman päämuuntajavaihdokselle käytettiin kyseisen sähköaseman toisen päämuuntajan tehokäyrää yhden vuoden ajanjaksolta. Tehokäyrän käyttö kuormitushäviöiden suuruuden arvioinnissa ottaa huomioon kuormituksen ajallisen vaihtelun ja mahdollistaa siten keskiarvoihin perustuvaa laskentaa tarkemman häviösäästövaikutuksen arviointimenetelmän kuormitushäviöiden skaalautuessa kuormituksen neliön suhteessa. Toisaalta päämuuntajan kuormituskäyrä vaihtelee myös voimakkaasti vuosikohtaisesti, jolloin kuormitushäviöiden mukainen arvioitu häviösäästövaikutus riippuu esimerkiksi vuoden aikana esiintyvistä lämpötiloista ja verkkotopologian muutoksista.

Virheen vaikutuksen arvioimiseksi laskettiin päämuuntajien kuormitushäviöille vastaavan häviösäästön suuruus muutamana eri ajanjaksona. Ensimmäiseksi laskennan referenssiajanjaksoksi valittiin aikaväli 2015–2016, joka vastaa kuormitusprofiililtaan lähes tulkoon luvussa 5.1.1 esitettyä aikaväliä 2017–2018. Toiseksi referenssivuodeksi valittiin aikaisin verkkotietojärjestelmästä saatavilla oleva päämuuntajan mittauksen aikaväli eli 2008–2009, joka on kuormitukseltaan huomattavasti pienempi kuin aikavälin 2017–2018 kuormitustaso. Esimerkiksi referenssivuoden 2008 talvella päämuuntajan kuormitus oli vain alle puolet vuoden 2018 vastaavasta päämuuntajan kuormitustasosta. Molemmat aikavälit ovat siis kuormitustasoiltaan hyvin erilaisia ja antavat yhdessä valistuneen vertailukohdan luvun 5.1.1 häviösäästölaskennan tulokselle.

Valitut referenssivuosien häviösäästölaskelmat antoivat hyvin samankaltaisia laskentatuloksia kuin luvussa 5.1.1 esitetty häviösäästölaskenta. Aikavälille 2015–2016 tehty häviösäästölaskenta antoi vuotuisen häviösäästön suuruudeksi -51,2 MWh, joka poikkeaa alkuperäisestä tuloksesta vain alle 1,5 prosenttia. Vastaavasti hyvin erilaiselle kuormitusprofiilille tehty häviösäästölaskenta (2008–2009) antoi vuotuisen häviösäästön suuruudeksi -54,5 MWh, joka sekin poikkeaa alkuperäisestä tuloksesta alle 7,5 prosenttia. Laskentatulokset osoittavat, että laskentamenetelmää käyttämällä pystytään riittävän valistuneella tarkkuudella määrittämään päämuuntajan vaihtamisen kautta saatavan häviösäästön suuruus yhden energiatehokkuussopimuskauden aikana.

5.4.2 Jakelumuuntajat

Jakelumuuntajia korvataan Elenian jakeluverkossa vuosittain useita satoja kappaleita, joiden häviösäästöjen laskentamenetelmäksi valittiin suurelle kappalemäärälle soveltuva laskentamenetelmä. Luvussa 5.1.2 päädyttiin laskemaan häviösäästöt muuntajakokoluokittain, jolloin laskentoja täytyi tehdä yhteensä kymmenen erillistä laskentaa vuotuisten häviösäästöjen määrittämiseksi. Laskenta tehtiin vuonna 2017 jakeluverkosta puretuille muuntajille ja sama laskentatapa on sovellettavissa myös tulevien vuosien osalta.

Laskentamenetelmä oli jokaiselle muuntajakokoluokalle samankaltainen, yhtälöön (4) perustuva laskentamalli, jossa parametreina käytettiin verkkotietojärjestelmän tietoja ja muuntajien kilpiarvoja. Laskennassa käytettyjen muuntajien kilpiarvojen (nimellisteho ja kuormitus- ja tyhjäkäyntihäviöt) osalta laskentaa voidaan pitää luotettavana, sillä käytetyt kilpiarvot ovat muuntajavalmistajien ilmoittamia virallisia tietoja. Myös verkkotietojärjestelmästä saatuja korvattujen muuntajien kilpiarvoja voidaan pitää laskennan kannalta riittävän tarkkana, sillä muuntajakokoluokakohtaiset häviötehot laskettiin keskiarvona koko verkkotietojärjestelmän muuntajapopulaatiosta. Laskennan ulkopuolelle jätettiin poikkeuksellisen suuret ja pienet häviötehotiedot ja häviötehojen keskiarvot laskettiin järjestelmänsinöörin luotettavaksi toteamasta laskentadatasta. Mahdollinen laskentavirheen suuruus voidaan arvioida verraten pieneksi, koska häviötehojen keskiarvot laskettiin koko Elenian jakeluverkon muuntajapopulaatiosta, jolloin virheen suuruus tasoittuu.

Päämuuntajien tapaan myös jakelumuuntajien tyhjäkäyntihäviöiden kautta saavutettua häviösäästöä voidaan pitää tarkkana, kun häviöiden suuruus on vuoden jokaisena tuntina vakio. Toisaalta jakelumuuntajien tyhjäkäyntihäviösäästöjen laskennassa muuttujana on muuntajien keskinäinen korvautuvuus eri kokoisilla muuntajilla esimerkiksi tilanteessa, jossa 50 kVA muuntajia korvataan 100 kVA muuntajilla. Edellä esitetyn kaltaisessa tilanteessa uuden 100 kVA muuntajan tyhjäkäyntihäviöt ovat oletetusti suuremmat kuin puolet pienemmällä 50 kVA muuntajalla, vaikka todellisuudessa uusi muuntaja on tyhjäkäyntihäviöiden osalta nimellistehoon suhteutettuna energiatehokkaampi. Toisin sanoen jakelumuuntajien korvaaminen johtaa jossain määrin tilanteisiin, jossa verkon tehokapasiteettia ja energiatehokkuutta edistetään samanaikaisesti. Laskennassa tätä ei kuitenkaan

päätetty ottaa huomioon, sillä verkon tehokapasiteetti kasvaa merkittävästi vasta pidemmällä aikavälillä, eikä tehokapasiteetin varausta voida näin ollen vielä arvioida järkevästi osana laskentamallia. Verkkoyhtiön energiatehokkuuden raportoinnin näkökulmasta vallittu laskentatapa on tyhjäkäyntihäviösäästöjen osalta konservatiivisempi ja paremmin nykytilannetta kuvaava.

Jakelumuuntajien kuormitushäviösäästöjen osalta laskennan epätarkkuutta aiheuttivat muuntajien keskimääräisen kuormitusasteen arviointi ja eri kokoluokkien väliset keskinäiset korvautuvuussuhteet. Jakelumuuntajien keskimääräinen huippukuormitusaste saatiin verkkotietojärjestelmän tehonjakolaskennasta, minkä jälkeen laskennassa käytetty keskimääräinen vuotuinen kuormitusaste laskettiin skaalaamalla huippukuormitusaste huipunkäyttöajalla. Huipunkäyttöaikana käytettiin 2500 h, joka on valistunut arvio perustuen lähteeseen (Lakervi & Partanen, 2012) ja aiheuttaa siten hieman laskennan epätarkkuutta. Edelleen jakeluverkon kuormitusaste vaihtelee huomattavasti vuoden aikana sekä eri vuosien välillä, mikä vääristää saatua häviösäästölaskennan tulosta. Toisaalta laskennassa vanhoja ja uusia muuntajia käsitellään samalla tavalla, jolloin laskentavirheen suuruus jää verraten pieneksi. Kuormitushäviöiden osalta eri muuntajakokoluokkien keskinäinen korvautuvuus ei aiheuta samanlaista ongelmaa kuin tyhjäkäyntihäviöiden tapauksessa, koska kuormitushäviöt skaalattiin muuntajien nimellistehojen suhteessa. Laskentavirhettä aiheuttivat kuitenkin sähköverkkosuunnittelijoiden arvioimat keskinäiset korvautuvuussuhteet, joita ei voida pitää absoluuttisen tarkkoina.

Energiatehokkuussopimuksen edellyttämän raportoinnin näkökulmasta jakelumuuntajien häviösäästöt saatiin laskettua riittävällä tarkkuudella. Sopimus edellyttää vuotuisten häviösäästöjen raportointia kohtuullisella tarkkuudella ja laskennan tulisi perustua ammatillaisen tekemien laskelmiin tai riittävän valistuneisiin arvioihin. (Motiva Oy, 2017a) Jakelumuuntajien häviösäästöjen laskennassa käytetyt parametrit ovat verkkotietojärjestelmästä, muuntajavalmistajalta tai tieteellisestä lähteestä saatavia parametreja, joten niitä voidaan pitää luotettavina. Teoriassa tarkempi laskenta olisi pystytty tekemään tuntikohdataista kuormitusdataa hyödyntämällä, kuten päämuuntajien korvaamisen tapauksessa. Tällöin laskenta olisi kuitenkin vienyt kohtuuttoman paljon resursseja, eikä laskenta olisi ollut oletusarvoisesti juurikaan sen tarkempi.

5.4.3 Keski- ja pienjännitejohdot

Keski- ja pienjännitteisen jakeluverkon häviösäästölaskenta tehtiin dokumentissa (Sepälä & Trygg, 2011) esitetyllä materiaaliuutoksiin perustuvalla laskentamenetelmällä, joka on kuvattu tarkemmin tämän työn luvussa 5.2.1. Tässä luvussa arvioidaan laskentamenetelmän soveltuvuutta energiatehokkuusraportoinnissa ja selvitetään laskentatuloksen tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä.

Materiaalimuutoksiin perustuvassa laskentamenetelmässä maakaapeloitavan ilmajohtoverkon johtopituuden oletetaan pysyvän vakiona. Tämä oletamus aiheuttaa johtosaneerauksien häviösäästölaskentaan merkittävää epätarkkuutta, sillä todellisuudessa jakeluverkkoa maakaapeloitaessa johtopituudet yleensä kasvavat. Energiatehokkuusraportoinnin kannalta saman johtopituuden käyttö ilmajohto- ja maakaapeliverkon osalta ylikorostaa johtosaneerauksen häviösäästövaikutusta. Tulevaisuudessa laskentamenetelmää voitaisiin tarkentaa ylimääräisellä muuttujalla, joka ottaisi huomioon johtosaneerauksen johtopituuden muutoksen. Toisaalta johtopituuden kasvun huomioiminen häviösäästölaskennassa pienentäisi jakeluverkon maakaapeloinnilla saavutettavia häviösäästöjä merkittävästi, vaikka todellisuudessa uusi maakaapeliverkko olisi johtopituuteen suhteutettuna vanhaa ilmajohtoverkkoa energiatehokkaampaa. Johtopituuden kasvun huomioiminen energiatehokkuusraportoinnissa on jossain määrin myös ristiriidassa sähkömarkkinalain (Sähkömarkkinalaki 588, 2013) kanssa, joka velvoittaa verkkoyhtiöitä käytännössä ilmajohtoverkkojensa maakaapelointiin.

Jakeluverkon johtosaneerauksien häviösäästöt laskettiin taulukkolaskentaohjelmassa yhtälöä (10) soveltaen. Yhtälössä käytetään verkkokohtaisesti arvioituja parametrejä, jotka aiheuttavat jossain määrin laskentatuloksen epätarkkuutta. Edellä mainitun johtopituuden ongelman ohella laskennan huomattavaa epätarkkuutta aiheuttaa johtolajikohtaisen kuormituksen keskitehon neliön käyttö. Todellisuudessa kuormituksen keskiteho vaihtelee huomattavasti alueellisen kuormituksen mukaan, mikä vääristää laskentatuloksen tarkkuutta erityisesti korkean ja matalan kuormituksen johto-osuuksilla. Häviökertoimien osalta laskentamenetelmää voidaan pitää suhteellisen tarkkana, sillä häviökertoimet eivät ole kuormituksen mukaan skaalautuvia suureita. Käytännössä häviökertoimen suurin epätarkkuustekijä on johtolajille valittu tehokerroin, jota on hyvin haasteellista määrittää erikseen kunkin johtolajin osalta. Tämän vuoksi jokaiselle johtolajille päädyttiin käyttämään samaa jakeluverkon keskimääräistä tehokerrointa 0,95.

Tyypillisesti purettavan ilmajohtoverkon johtoja korvataan useammilla eri maakaapelikokoluokilla, mikä tekee johtosaneerauksen häviösäästöjen arvioinnista huomattavasti monimutkaisempaa. VTJ:llä saadaan laskettua tarkasti vuosittain purkautuvat johtopituudet johtolajeittain, mutta korvaavien johtolajien johtopituuksien arvioinnissa pitää tehdä joitakin karkeita oletuksia. Purettujen ilmajohtojen ja korvaavien maakaapeleiden keskinäisessä korvautuvuudessa käytettiin sähköverkkosuunnittelijoiden arvioimia korvaussuhteita. (taulukot 5.5 ja 5.6) Kyseisiä korvaussuhteita on käytetty aikaisemminkin tiettyjen raporttien koostamiseen, joten arvioita voidaan pitää energiatehokkuusraportoinnin vaatiman tarkkuuden rajoissa. Korvaussuhteiden osalta arvojen seurantaa ja päivittämistä tulisi kuitenkin tehdä säännöllisesti laskennan tarkkuuden ylläpitämiseksi. Olisi suotavaa, että esimerkiksi seuraavan vuoden energiatehokkuusraportoinnin yhteydessä keskinäisille korvaussuhteille tehtäisiin jonkinasteinen tarkistuslaskenta.

Johtosaneerauksien häviösäästölaskennan tuloksista (taulukot 5.5 ja 5.6) huomataan, että häviösäästöt korostuvat suurempien johtokokoluokkien kohdalla. Toisaalta erityisesti

pienjänniteverkon häviösäästölaskenta osoitti, että poikkipinnaltaan pienimmät johtokorvaukset tuottavat yleensä verraten pieniä häviösäästöjä tai jopa häviöiden kasvua. Esimerkiksi 2-AMKA -johtojen korvaustapauksissa poikkipinnaltaan pienimmät maakaapelit ovat todellisuudessa suurempihäviöisiä kuin purettavat ilmajohtot. Tällaisten johtokorvausten osalta häviösäästölaskennan tekeminen ei ole kovinkaan mielekäästä etenkin tilanteissa, joissa johtosaneerauksen pituus on vain muutamia kilometrejä.

Joidenkin johtokorvausten osalta häviöiden kasvu herätti myös kysymyksiä energiatehokkuusraportoinnin suuntaan. Energiatehokkuussopimustoiminnassa on linjaus, ettei negatiivisia energiatehokkuustoimia tule raportoida (Seppälä & Trygg, 2011), mikä ylikorostaa johtokorvauksille laskettuja vuotuisia häviösäästöjä. Nykytilanteessa verkkoyhtiöt voivat laskea tietyllä purkautuvalle ilmajohtolajille häviösäästöjen suuruudet eri maakaapelikokoluokkien osalta ja valita raportointiin ainoastaan häviösäästöjä tuottavat kokoluokat. Vastaavasti raportoinnin ulkopuolelle suljetaan negatiiviset toimenpiteet. Energiatehokkuusraportoinnin kannalta laskentamenetelmiä tulisi tarkentaa siten, että häviösäästölaskennan tulokset vastaisivat paremmin todellisuutta.

5.4.4 110 kV:n siirtojohtot

Elenian 110 kV alueverkon saneeraustöiden ja Hämeenlinnan alueella käyttöönotettavalle rengasyhteydelle laskettiin vuotuiset häviösäästöt verkkotietojärjestelmän (VTJ) tehonjakolaskennalla. Alueverkon osalta saneerausprojektit toteutetaan johto-osakohtaisesti, joten tehonjakolaskenta mahdollisti tehokkaimman ja tarkimman laskentamenetelmän vuotuisen häviösäästöjen suuruuden arvioimiseksi. Verkostolaskentaan perustuva laskentamenetelmä valikoitui myös Hämeenlinnan 110 kV rengasyhteyden häviösäästöjen laskentamenetelmäksi, jonka häviösäästövaikutus saatiin laskettua kohtuullisen yksinkertaisesti simuloimalla vanhan ja uuden verkon kytkentätilojen keskinäisiä vuotuisia häviöitä VTJ:ssä.

Verkostolaskentaan perustuva laskentamenetelmä on mittaukseen perustuvan menetelmän ohella tarkin verkkoyhtiöiden käytettävissä oleva laskentamenetelmä vuotuisen häviösäästöjen laskemiseksi. Ongelmana VTJ:llä toteutettavassa häviösäästölaskennassa on kuitenkin VTJ:n tuen puute energiatehokkuusraportoinnille. (Seppälä & Trygg, 2011). Häviösäästölaskentaa tehtäessä havaittiin, että verkostolaskenta soveltuu parhaiten sellaisiin yksittäisiin energiatehokkuustoimiin, joista on odotettavissa verraten suuret häviösäästöt. Alueverkon häviösäästölaskenta on edellä kuvatus kaltainen kohde, sillä saneerattavan verkon pituus on maltillinen ja häviösäästölaskenta pystytään tekemään johtosittain etenemällä. Toisin kuin keski- ja pienjänniteverkon häviösäästölaskennassa, alueverkon häviösäästölaskenta pystytään kohtuullisen vaivattomasti ajamaan kerrallaan koko vuoden aikana saneerattavalle verkolle.

Alueverkon 110 kV voimajohtojen saneerauksien kautta saavutettavat häviösäästöt saatiin laskettua suoraan VTJ:n tehonjakolaskennalla vanhan ja uuden verkon vuotuisten häviöiden erotuksena. Laskentatuloksia voidaan pitää energiatehokkuusraportoinnin näkökulmasta erinomaisen tarkkoina, sillä tehonjakolaskenta perustuu nykyisessä Elenian järjestelmässä pääasiallisesti asiakkailta mitattuihin tuntikohtaisiin kuormitustietoihin. Yksittäisten verkon kuormituspisteiden tapauksessa tehonjakolaskenta perustuu edelleen asiakkaiden vuosienergiaan ja tyyppikäyriin. Häviösäästölaskennan tarkkuuden kannalta kuormitustiedon tuntiprofiilin epätarkkuudella ei ole suurta merkitystä, sillä laskelmissa käytetty kuormitustieto on vanhalle ja uudelle verkolle sama.

Alueverkon häviösäästölaskennassa tuntiprofiilin epätarkkuutta aiheuttaa myös valittu laskenta-ajankohta. Voimajohtojen vuotuiset häviösäästöt laskettiin tehonjakolaskennassa verkon nykyisellä kuormituksella ajanjaksolta 25.5.2017–25.5.2018. Tämä valinta aiheuttaa hieman laskentavirhettä, sillä lähitulevaisuudessa toteutuvien saneerausprojektien valmistumishetkellä kuormitustilanne lienee jossain määrin muuttunut. Laskennan epätarkkuus korostuu voimakkaimmin sopimuskauden viimeisten vuosien osalta, jolloin verkon kuormitustilanne on ollut mahdollisten kuormitusmuutosten vaikutusten piirissä useampia vuosia. Vastaavasti häviösäästölaskennan tarkkuuden näkökulmasta tarkimmat laskentatulokset saadaan sopimuskauden alkupään vuosille, joiden kuormitustilanne on todennäköisesti hyvin pitkälti valittua laskenta-ajankohtaa vastaava. Elenian alueverkkotasiantuntijoiden mukaan 110 kV siirtoverkossa ei ole odotettavissa energiatehokkuusraportoinnin kannalta merkittäviä kuormitusmuutoksia. Käytännössä suurimmat alueverkon kuormitusmuutokset ja sitä kautta verkostohäviöiden muutokset aiheutuvat alueverkkoon liitettävästä tuulivoimatuotannosta. Alueverkkoon liittyvä tuotantolaitos joko lisää tai vähentää verkon häviöitä mm. liittymispisteen sijainnista johtuen, mutta oletusarvoisesti vaikutus häviöihin ei ole energiatehokkuusraportoinnin kannalta merkittävä.

Alueverkon saneerattavien johto-osien valmistumisajankohdat perustuvat saneerausohjelman tietoihin sekä alueverkkotasiantuntijan arvioihin. Nykytilanteessa täysin tarkkoja saneerausprojektien valmistumisajankohtia ei tiedetä, joten laskennassa käytetyt voimajohtosaneerausten häviösäästövaikutusten alkamisajankohdat ovat valistuneita arvioita. Joissakin tapauksissa tietyn johto-osan saneerausprojekti saattaa valmistua ennen häviösäästölaskennassa käytettyä ajankohtaa, kun taas joissakin tapauksissa todellinen voimajohto-osan saneerausprojekti saattaa valmistua hieman arvioitua valmistumisajankohtaa myöhemmin. Alueverkon saneeraushankkeiden valmistumisajankohdien arviot tehtiin projektikohtaisesti, minkä lisäksi suurempien alueverkon saneerausprojektien valmistumisajankohdat jaksotettiin useammalle vuodelle. Tällä tavoin tekemällä häviösäästölaskennasta saatiin tarkempi sekä tasoitettua virheiden todennäköisyyttä ja suuruutta. Edelleen saneerattavien voimajohtojen häviösäästövaikutuksen elinikänä käytetään tyyppillistä verkostokomponentin pitoaikaa 40 vuotta (Energiavirasto, 2015), mikä vähentää valmis-

tumisajankohdan virhearvion vaikutusta entisestään. Energiatehokkuusraportoinnin näkökulmasta alueverkon saneerausprojektien valmistumisajankohdat kyettiin määrittämään riittävällä tarkkuudella, kun otetaan huomioon edellä esitetyt näkökulmat.

VTJ:n tehonjakolaskennalla pystytään laskemaan tarkasti alueverkon johtosaneerauksien kautta saavutettavat vuotuiset häviösäästöt. Tehonjakolaskenta mahdollistaa luotettavan häviösäästölaskennan, kun manuaalisen laskennan mahdollisilta epätarkkuustekijöiltä ja virheiltä vältytään. Toisaalta alueverkon häviösäästölaskennassa tehdyt saneerausprojektien valmistumisajankohtien arviot ja nykyisen kuormitustilanteen käyttö tehonjakolaskennassa heikentävät laskentatuloksen tarkkuutta jonkin verran. Kokonaiskuva huomioon ottaen alueverkon 110 kV johtosaneerauksille laskettuja vuotuisia häviösäästöjä voidaan pitää kuitenkin riittävän luotettavina energiatehokkuusraportoinnissa käytettäväksi.

5.5 Laskentatulosten yhteenveto

Diplomityön tärkeimpänä tavoitteena oli tunnistaa energiatehokkuusraportoinnin kannalta olennaiset jakeluverkon komponentit sekä kehittää tunnistetuille komponenteille häviösäästölaskennan menetelmät. Näin ollen häviösäästölaskennan kohteeksi valittiin jakeluverkon eri jännitetasojen primäärikomponentit eli muuntajat ja johdot, joissa syntyy merkittävimmät sähkönjakelun häviöt. Häviösäästölaskennan tuloksena saatiin onnistuneesti kehitettyä laskentamenetelmät valituille verkostokomponenteille, joita voidaan soveltaa sellaisenaan energiatehokkuusraportointia ja tulosten dokumentointia varten. Komponenttikorvausten ohella häviösäästölaskenta tehtiin potentiaalisimmalle jakeluverkon käyttötoimenpiteelle häviösäästön suuruusluokan selvittämiseksi.

Uusi energiatehokkuussopimuskausi 2017–2025 on ollut voimassa vasta vuoden 2017 alusta, mikä rajoitti energiatehokkuusraportointiin soveltuvan häviösäästölaskennan tekemistä käynnissä olevan sopimuskauden osalta. Häviösäästölaskennan kohteina pystyttiin soveltamaan ainoastaan vuonna 2017 tehtyjä komponenttikorvauksia eli jakeluverkon muuntaja- ja johtokorvauksia. Lisäksi häviösäästöt pystyttiin laskemaan ennakkoon suurjännitteisen jakeluverkon johtokorvauksille ja Hämeenlinnan rengaskytkenkännälle, joiden saneerausohjelmat on jo vahvistettu toteutettaviksi. Taulukossa 5.9 on esitetty häviösäästölaskennan tulokset.

Taulukko 5.9 Sähköverkon häviösäästöläaskennan tulokset.

Toimenpide	Häviösäästö (MWh)	Toteutusvuosi
Jakelumuuntajat	1408	2017
Keskijännitejohdot	437	2017
Pienjännitejohdot	2383	2017
110 kV:n siirtojohdot	4966	2018–2025
Hämeenlinnan 110 kV:n rengas	13	2020–2022
Yhteensä	9207	
Ennuste 2025	43031	

Häviösäästöläaskennan kokonaistulokseksi saatiin 9,2 GWh vuotuiset häviösäästöt, jotka kattavat asetetusta 13,2 GWh sopimustavoitteesta yhteensä liki 70 prosenttia. Kaikki työssä lasketut energiatehokkuustoimenpiteet ovat voimassa sopimuskauden päättyessä vuonna 2025. Saadusta tuloksesta vuonna 2017 toteutettujen energiatehokkuustoimenpiteiden osuus on hieman yli 4,2 GWh ja vasta tulevaisuudessa toteutuvien 110 kV siirtoverkon toimenpiteiden osuus noin 5,0 GWh. Häviösäästöläaskennan tulos osoittaa, että Elenialle energiatehokkuussopimuksessa asetettu energiansäästötavoite on epäilemättä saavutettavissa käynnissä olevan sopimuskauden aikana. Karkean arvion mukaan vuoden 2025 mennessä Elenian jakeluverkossa saavutetaan yli 43 GWh/a kumulatiivinen energiansäästö nykytilanteeseen verrattuna olettaen, että jakeluverkkoa ja -muuntajia uusitaan vastaavaan tahtiin myös tulevina vuosina.

Merkittävimmät häviösäästöt (4966 MWh) laskettiin 110 kV alueverkon vuosien 2018–2025 aikana toteutettaville johtosaneerauksille, joiden osuus yhteenlasketusta vuotuisesta energiansäästöstä on noin 54 prosenttia. Lähes yhtä suuret häviösäästöt (4228 MWh) laskettiin vuonna 2017 toteutuneille jakeluverkon muuntaja- ja johtokorvauksille, joiden osuus yhteenlasketusta vuotuisesta häviösäästöstä on lähes 46 prosenttia. Häviösäästöläaskennan kokonaistulokseen suhteutettuna Hämeenlinnan 110 kV rengasyhteydelle laskettu vuotuinen häviösäästö (13 MWh) on energiatehokkuusraportoinnin kannalta melko vähäpätöinen, sillä se on vain prosentin kymmenyksen luokkaa.

Häviösäästöläaskennan tulosten perusteella voidaan todeta, että Elenian näkökulmasta merkittävimmät energiatehokkuustoimet tehdään käynnissä olevan sopimuskauden aikana jakeluverkon tasolla. Jakeluverkon energiatehokkuuden näkökulmasta pienjänniteverkon rooli korostuu, sillä pienjänniteverkkoa saneerataan johtopituudeltaan kaikkein

eniten. Lisäksi alemmilla jännitetasoilla saman tehon siirtämiseksi tarvitaan suurempi virta, mikä korostaa osaltaan häviöiden merkitystä sähkönsiirrossa. Laskentatuloksia tulkittaessa on syytä muistaa, että alueverkon osalta häviösäästöt laskettiin koko sopimuskauden ajalta, kun taas jakeluverkon muuntaja- ja johtosaneerauksille häviösäästöt laskettiin vain vuoden 2017 osalta. Tämä seikka ylikorostaa 110 kV:n alueverkon johtosaneerauksien roolia sähköverkon energiatehokkuuden edistämisessä.

6. YHTEENVETO

Verkkoyhtiöiden energiatehokkuustoiminnan toteutumista valvotaan ja ohjataan kansallisen energiatehokkuussopimustoiminnan kautta. Sopimustoiminnassa verkkoyhtiölle asetetaan energiamääräinen energiansäästötavoite (MWh), jonka toteutumista valvotaan Motiva Oy:n ylläpitämän vuosiraportointijärjestelmän kautta. Energiatehokkuustoimia voidaan kohdistaa joko asiakkaille tai jakeluverkkoon. Diplomityössä selvitetään verkkoyhtiön kannalta keskeiset energiatehokkuustoimet sopimustavoitteen toteuttamiseksi ja kehitetään tunnistetuille toimille energiatehokkuusraportointiin soveltuvat häviösäästölaskennan menetelmät.

Nykytilanteessa suomalaiset verkkoyhtiöt edistävät asiakkaidensa energiatehokkuutta lähinnä viestinnällisin keinoin ja sähkönkulutusmittauspalvelua tarjoamalla. Energiatehokkuussopimukset eivät juurikaan kannusta asiakkaiden energiatehokkuuden edistämiseen, sillä asiakkaille kohdistetuista energiatehokkuustoimista ei voida raportoida energiamääräistä sopimustavoitteen kattavia säästötoimenpiteitä. Myöskään nykyinen energiatehokkuuslainsäädäntö ja pääasiassa siirrettyyn energian määrään pohjautuva siirtotariffi eivät juurikaan motivoi verkkoyhtiöitä asiakkaidensa energiatehokkuuden edistämiseen. Energiatehokkuussopimusten kautta verkkoyhtiöitä voitaisiin kannustaa asiakkaiden energiatehokkuuden edistämistyöhön kvantifioimalla viestinnällisten energiatehokkuustoimien vaikutus energiamääräisiksi suureiksi. Energiatehokkuussopimusten lisäksi verkkoyhtiöiden energiatehokkuustoimintaa voitaisiin ohjata esimerkiksi energiaviraston regulaatiomallin kautta kehittämällä verkkoyhtiöille kannustinmalli energiatehokkuusinvestointien läpiviemiseksi.

Perinteisten viestinnällisten keinojen ohella kehitteillä olevat kysyntäjoustomekanismit avaavat mahdollisuuksia verkkoyhtiön asiakkaiden energiatehokkuuden tehostamiseksi. Kysyntäjouston kautta asiakkaiden energiatehokkuutta voidaan edistää pääasiassa sähköverkon marginaalisia häviöitä pienentämällä (kuormitusprofiilien tasaaminen) ja siirtomatkoja lyhentämällä (paikallinen energiantuotanto ja -kulutus). Toisaalta kysyntäjousto vaikuttaa jakeluverkon energiatehokkuuteen myös laskevasti esimerkiksi tilanteissa, joissa verkon kuormitusta säädetään ylöspäin kysyntäjoustomarkkinoiden tarpeiden mukaisesti. Energiatehokkuusraportoinnin kannalta kysyntäjouston kytkeminen osaksi sopimustoimintaa on hyvin haasteellista, sillä kysyntäjousto vaikuttaa asiakkaiden sähkönkäyttöön moniulotteisesti. Tällä hetkellä kysyntäjouston vaikutusta sähköverkon energiatehokkuuteen pystytään arvioimaan kuormitusprofiilien tasaamisen osalta yleisellä tasolla.

Nykytilanteessa verkkoyhtiöt voivat edistää toimintansa energiatehokkuutta pääasiallisesti sähköverkon komponentteja uusimalla. Lisäksi sähkönjakelun energiatehokkuuteen

voidaan vaikuttaa jossain määrin verkon käyttötoiminnalla esimerkiksi tasaamalla sähköasemien keskinäisiä kuormituksia ja optimoimalla johtolähtöjen välisiä jakorajoja. Energiatehokkuus on yhtenä suunnittelukriteerinä verkostokomponenttien hankinnassa, mutta investointipäätöksiä ei tehdä yleensä puhtaasti energiatehokkuuden perusteella. Esimerkiksi jakelumuuntajien hankinnassa energiatehokkuus on yhtenä suunnittelukriteerinä elinkaaren aikaisten häviökustannusten minimoinnin kautta, joten energiatehokkuus määräytyy pitkälti taloudellisen kannattavuuden perusteella.

Diplomityössä kehitettiin häviösäästölaskennan menetelmät sähköverkon primäärikomponenteille eli eri jännitetasojen johto- ja muuntajakorvauksille. Komponenttikorvausten häviösäästölaskenta tehtiin taulukkolaskentaohjelmistolla ja laskentaparametrit saatiin pääasiallisesti verkkotietojärjestelmästä suodatetusta aineistosta. Häviösäästölaskennan menetelmien kehittämisen ohella vuotuiset häviösäästöt saatiin laskettua vuoden 2017 muuntaja- ja johtokorvauksille, jotka voidaan raportoida vuoden 2019 energiatehokkuusraportoinnissa. Alueverkon 110 kV:n johtosaneerauksien osalta vuotuiset häviösäästöt 2019–2025 pystyttiin laskemaan ennakkoon määritetyn saneerausohjelman mukaisesti. Komponenttikorvausten lisäksi diplomityössä selvitettiin verkon käyttötoiminnan potentiaalia sähkönjakelun energiatehokkuuden edistämiseksi laskemalla vuotuisten häviösäästöjen suuruus Hämeenlinnassa käyttöönotettavalle suurjänniteverkon rengasyhteydelle.

Suurimmat häviösäästöt tullaan oletusarvoisesti raportoimaan jakeluverkon johto- ja muuntajakorvauksista, joita tullaan uusimaan Elenia Säävarma -projektien yhteydessä vuosittain koko sopimuskauden ajan. Merkittävät häviösäästöt tullaan raportoimaan myös alueverkon 110 kV johto-osien saneerauksista, jotka ajoittuvat pääasiallisesti käynnissä olevalle sopimuskaudelle. Verraten pienet vuotuiset häviösäästöt laskettiin päämuuntajakorvauksille ja verkon käyttötoimenpiteille, joita tehdään kappalemääräisesti melko vähän. Laskentatulosten ja aiempien tutkimusten perusteella häviösäästölaskenta kannattaa tehdä kuitenkin myös päämuuntajien ja käyttötekniesten toimenpiteiden osalta. Erityisesti käyttötekniesten toimenpiteiden tapauksessa saavutettujen vuotuisten häviösäästöjen hajonta on suurta, joten tapauskohtaisesti häviösäästöt saattavat olla hyvinkin merkittäviä.

Häviösäästölaskennan tulokset osoittavat, että Elenialle energiatehokkuussopimuksessa asetettu 13,2 GWh tavoite vuotuisten sähköverkon häviöiden pienentämiseksi on kohtuullisella työllä saavutettavissa voimassa olevan sopimuskauden osalta. Diplomityössä lasketut häviösäästöt kattavat Elenialle asetetusta sopimustavoitteesta noin 70 prosenttia. Sopimustavoitteesta uupuvat 30 prosenttia saadaan raportoitua tulevien vuosien osalta pääasiallisesti Elenia Säävarma -projektien yhteydessä toteutettavista jakelumuuntaja- ja johtokorvauksista. Jotta energiatehokkuustavoitteet saavutettaisiin myös tulevien mahdollisten sopimuskausien osalta, tulisi energiatehokkuustoiminta sisällyttää osaksi verkko-yhtiössä käytössä olevia johtamisjärjestelmiä.

LÄHTEET

Aaltonen S. (2018). Viestinnän asiantuntija, Elenia Oy. Haastattelu 15.2.2018, Tampere.

ABB Oy. (2015a). Distribution transformers - Green distribution transformer program. [WWW]. Saatavissa (viitattu 10.4.2018): https://new.abb.com/docs/librariesprovider27/default-document-library/greendistrib_transformer_pgm.pdf?sfvrsn=2.

ABB Oy. (2015b). Total Cost of Ownership method - Basics of transformer TCO calculation. [WWW]. Saatavissa (viitattu 10.4.2018): <http://new.abb.com/docs/librariesprovider95/energy-efficiency-library/tco-method-basics.pdf?sfvrsn=2>.

Balcombe Paul, Rigby Dan & Azapagic Adisa. (2013). Motivations and barriers associated with adopting microgeneration energy technologies in the UK. Elsevier Ltd. Vol. 22, pp. 655-666.

Bastman, J. (2011). Kartoitus alueverkkojen nykytilasta. SGEM projektityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Bertoldi Paolo & Boza-Kiss Benigna. (2017). Analysis of barriers and drivers for the development of the ESCO markets in Europe. Energy Policy. pp. 345-355.

Boza-Kiss Benigna, Bertoldi Paolo & Economidou Marina. (2017). Energy Service Companies in the EU. JRC Science Hub.

Breukers Sylvia, Heiskanen Eva & Mourik Ruth. (2013). Changing Energy Demand Behavior: Potential of Demand-Side Management, Handbook of Sustainable Engineering. Springer, Dordrecht.

Bucher, C. (2014). Analysis and Simulation of Distribution Grids with Photovoltaics. Doctoral Thesis. ETH, Zürich.

De Almeida, A., Santos, B. & Martins, F. (2016). Energy-efficient distribution transformers in Europe: impact of Ecodesign regulation. Vol. 9(2). pp. 401-424.

De Keulenaer, H., Chapman, D. & Fassbinder, S. (2001). The scope for energy saving in the EU through the use of energy-efficient electricity distribution transformers. 16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2001). IEE. London.

Delmas, M.A., Fischlein, M. & Asensio, O. Information strategies and energy conservation behavior: A meta-analysis of experimental studies from 1975 to 2012. (2013). Energy Policy Journal, pp. 729-739.

Direktiivi 2012/27/EU energiatehokkuudesta, direktiivien 2009/125/EY ja 2010/30/EU muuttamisesta sekä direktiivien 2004/8/EY ja 2006/32/EY kumoamisesta. [WWW]. Saatavissa (viitattu 30.1.2018): <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF>

Electricity Authority Te Mana Hiko. (2013). Guidelines on the calculation and use of loss factors Intelligent Energy Europe.

Elenia Oy. (2016). Elenia Oy:n liittymisasiakirja energiapalvelujen toimenpideohjelmaan. Tampere.

Elenia Oy. (2017a). Vuosikertomus 2016. [WWW]. Saatavissa (10.4.2018): <http://www.elenia.com/fi/vuosikertomukset>

Elenia Oy. (2017b). Elenia rakentaa ratkaisua sähkömarkkinoiden kysyntäjoustopuutteen edistämiseksi. [WWW]. Saatavissa (viitattu 15.2.2018): <http://www.elenia.fi/uutiset/elenia-rakentaa-ratkaisua-s%C3%A4hk%C3%B6markkinoiden-kysynt%C3%A4joustopuutteen-edist%C3%A4miseksi>

Elenia Oy. (2018a). Vuosikertomus 2017. [WWW]. Saatavissa (viitattu 28.5.2018): <http://www.elenia.com/fi/vuosikertomukset>

Elenia Oy. (2018b). Elenian sisäiset materiaalit, ei yleisessä jakelussa.

Elovaara J. & Haarla L. (2011). Sähköverkot I: Järjestelmäteknikka ja sähköverkon laskenta. Otatieto Oy. Helsinki. 520 p.

Energiatehokkuuslaki 1429/2014. (2014). [WWW]. Saatavissa (viitattu 15.2.2018): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141429>

Energiateollisuus. (2017a). Finnish Energy key messages on the Directive on energy efficiency. [WWW]. Saatavissa (viitattu 24.1.2018): https://energia.fi/files/1593/Finnish_Energy_key_messages_on_Directive_energy_efficiency_20170227.pdf

Energiateollisuus. (2017b). Energiapalveluiden toimenpideohjelman toteuttaminen. Webinaari 5.4.2017. [WWW]. Saatavissa (viitattu 5.3.2018): <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/extranet/energia-ala/seminaariaineistot/#Energiatehokkuussopimusenergiayhtionviestinnanjanuvonnantukena11122017>

Energiateollisuus. (2017c). Sähkötase 1970–2016. [WWW]. Saatavissa (viitattu 16.2.2018): https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/sahkotase_1970-2016.html

Energiavirasto. (2015). Sähkönjakeluverkon verkkokomponentit ja yksikköhinnat 2016 – 2023. [WWW]. Saatavissa (viitattu 5.2.2018): <https://www.energiavirasto.fi/verkkokomponentit-ja-yksikkohinnat-2016-2023>

Energiavirasto. (2017). Sähköverkkotoiminnan tunnusluvut vuodelta 2016. [WWW]. Saatavissa (viitattu 2.3.2018): <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkkotoiminnan-tunnusluvut-2016>

Euroopan komissio. (2015). Energiaunionipaketti. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle, alueiden komitealle ja Euroopan investointipankille. [WWW]. Saatavissa (viitattu 18.1.2018): http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1bd46c90-bdd4-11e4-bbe1-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF

Euroopan parlamentti. (2016). Euroopan parlamentin päätöslauselma 23. kesäkuuta 2016 energiatehokkuusdirektiivin (2012/27/EU) täytäntöönpanokertomuksesta (2015/2232(INI)). [WWW]. Saatavissa (viitattu 18.1.2018): <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P8-TA-2016-0293+0+DOC+XML+V0//FI>

European Commission. (2016). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank. [WWW]. Saatavissa (viitattu 22.1.2018): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52015DC0080>

European Commission. (2014). 2030 Energy Strategy. [WWW]. Saatavissa (viitattu 31.01.2018): <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy>

European Council. (2017a) Increased energy efficiency: ensuring progress towards EU's climate and energy goals. [WWW]. Saatavissa (viitattu 31.1.2018): <http://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2017/06/26/increased-energy-efficiency/>

European Council. (2017b). Governance of the Energy Union – Council agrees general approach. [WWW]. Saatavissa (viitattu 31.1.2018): <http://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2017/12/18/governance-of-the-energy-union-council-agrees-general-approach/>

Fingrid Oyj. (2018). Kysyntäjousto – Markkinapaikat. [WWW]. Saatavissa (viitattu 09.03.2018): <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/markkinapaikat/>

Finning Tero. (2010). Forssan verkkopalvelut Oy:n sähköverkon kehittäminen käyttövarmuuden ja energiatehokkuuden näkökulmasta. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Georgilakis, P.S. (2011). Environmental cost of distribution transformer losses. *Applied Energy*, pp. 3146–3155.

Heckmann, W., Heike, B., Thorsten, R., Hamann, L., Dasenbrock, J., Scheidler, A., Braun, M. & Chenjie, M. (2013). Detailed analysis of network losses in a million customer distribution grid with high penetration of distributed generation. CIRED, Stockholm, pp. 1–6.

Heiskanen Eva & Matschoss Kaisa. (2016). Consumers as innovators in the electricity sector? Consumer perceptions on smart grid services. *International Journal of Consumer Studies*.

Honkapuro, S., Partanen, J., Haakana, J., Annala, S. & Lassila, J. (2015). Selvitys sähkö- ja maakaasuinfrastruktuurin parantamismahdollisuuksista. Lappeenranta, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Honkapuro, S., Jauhiainen, N., Partanen, J. & Valkealahti, S. (2012). Sähkön ja kaukolämmön rooli energiatehokkuudessa ja energian säästössä. Lappeenranta, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

IEA. (2009). *World Energy Outlook 2009*, 2017th ed. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD).

IEA. (2011). The Regulatory Assistance Project (RAP), Effective energy efficiency obligations. Saatavissa (viitattu 31.1.2018): https://www.iea.org/media/workshops/2011/aupedee/Crossley_Swanson.pdf

Järvinen Mikko. (2013). Developing network loss forecasting for a distribution system operator. Master of Science Thesis. Tampere University of Technology.

Jääskeläinen Ville. (2010). 1 kV tekniikan teknistaloudellinen analysointi Savon Voima Verkko Oy:n sähköverkossa. Insinööritö. Savonia-ammattikorkeakoulu.

Kohonen Kimmo. (2017). Sähköverkkoyhtiön tehostamissuunnitelma. Insinööritö. Turun ammattikorkeakoulu.

Koliou Elta, Eklund Tobias, Picciariello Angela, Söder Lennart, Bartusch Cajsa, Alvehag Karin & Hakvoort, R.A. (2013). Economic Impact of Demand Response on Costs to Distribution System Operators. School of Electrical Engineering, KTH Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden.

Komission asetus (EU) 244/2009. (2009). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2005/32/EY täytäntöönpanemisesta ympärisäteilevien kotitalouslamppujen ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta.

Komission asetus (EU) 548/2014. (2014). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanosta pienten, keskikokoisten ja suurten muuntajien osalta.

Koreneff, G., Grandell, L., Lehtilä, A., Koljonen, T. & Nylund N-O. (2014). Energiatsehokkuuden kehittyminen Suomessa – Arvot menneisyydestä ja tulevaisuudesta. VTT. [WWW]. Saatavissa (viitattu 20.3.2018): <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T180.pdf>

Koski Anmari. (2017). Tehotariffi kannustimena sähköverkkoyhtiön asiakkaiden tehonkäytön ohjauksessa. Diplomityö. Vaasan yliopisto.

Labanca, N., Suerkemper, F., Bertoldi, P., Wolfgang, I. & Duplessis, B. (2015). Energy efficiency services for residential buildings: market situation and existing potentials in the European Union. Energy Policy, Vol. 109 pp. 284-295.

Lakervi, E. & Partanen, J. (2012). Sähkönjakeluteknikka. Gaudeamus. 294 p.

Lehner, M., Mont, O. & Heiskanen, E. (2016). Nudging – A promising tool for sustainable consumption behaviour? Journal of Cleaner Production, 10/2016, pp. 166-177.

Leino Sirpa. Asiantuntija, Energiatseollisuus. Sähköpostikeskustelu 05.02.2018.

Matschoss, K., Heiskanen, E., Kahma, N. & Saatamoinen, M. (2014). Energiatsehokkuuspalveluiden markkinapotentiaali ja parhaat käytännöt. Kuluttajatutkimuskeskus. [WWW]. Saatavissa (viitattu 20.3.2018): https://energia.fi/files/964/Energiatsehokkuuspalveluiden_markkinapotentiaali_ja_parhaat_kaytannot.pdf

Motiva Oy. (2009). Energiapalvelujen toimenpideohjelma; Ohjeita yrityskohtaisen suunnitelman laatimiseksi.

Motiva Oy. (2016a). Elinkeinoelämän energiatsehokkuussopimus, Energiapalvelujen toimenpideohjelma. [WWW]. Saatavissa (viitattu 8.2.2018): <http://www.energiatsehokkuussopimukset2017-2025.fi/wp-content/uploads/Energiapalvelut-Elinkeinoelama-energia-ala-1.pdf>

Motiva Oy (2016b). Yhteenveto elinkeinoelämän energiatsehokkuussopimuksen alakohtaisista tuloksista. [WWW]. Saatavissa (viitattu 19.2.2018): https://www.motiva.fi/files/13422/Energiatsehokkuussopimukset_Elinkeinoelaman_eri_alojen_yhteenvetora-portti_2016.pdf

Motiva Oy. (2017a). Säästövaikutusten laskenta ja dokumentointi – Yleisiä pelisääntöjä. [WWW]. Saatavissa (viitattu 21.6.2018): <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/wp-content/uploads/S%C3%A4%C3%A4st%C3%B6jen-laskenta-ja-dokumentointi.pdf>

Motiva Oy. (2017b). Energiatehokkuussopimukset – Extranet. Energiapalvelut: Vuosiraportointi. [WWW]. Saatavissa (viitattu 9.3.2018): <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/extranet/energia-ala/vuosiraportointi/>

MVV Energie AG, IWES, IBM, IFEU, IZES, Papendorf Software Engineering, Power Plus Communication AG. (2013) Modellstadt Mannheim. Universität Duisburg-Essen.

OECD/IEA. (2014). Electric power transmission and distribution losses (% of output) - Country Ranking - Europe. [WWW]. Saatavissa (viitattu 5.3.2018): <http://www.oecd.org/>

Rouhiainen Virve. Yliaktuaari, Tilastokeskus. Sähköpostikeskustelu 26.02.2018.

Rouhiainen Virve & Heiskanen Eva. (2015). Tuntimittauksen havainnollistaminen esimerkein –loppuraportti. Adato Energia Oy. [WWW]. Saatavissa (viitattu 15.3.2018): https://energia.fi/files/948/Tuntimittauksen_havainnollistaminen_esimerkein_2015.pdf

Seppälä Anssi & Trygg Petri. (2011). Sähkönjakeluverkon häviösäästöjen laskennan ja raportoinnin kehittäminen ja yhdenmukaistaminen. Enease Oy. [WWW]. Saatavissa (viitattu 28.6.2018): https://energia.fi/files/1038/Sahkonjakeluverkon_haviosaaostojen_laskenta_ja_raportointi.pdf

SFS-ISO-EN-50160, Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. (2011). Suomen standardisoimisliitto SFS.

Suur-Uski Päivi. (2018). Pientaloihin tarvitaan sähkönkäytön automaatiota. Länsi-Suomi sanomalehti. [WWW]. Saatavissa (viitattu 14.03.2018): <http://ls24.fi/artikkelit/pientaloihin-tarvitaan-sahkonkayton-automaatiota>

Suvilehto, H-M., Rouhiainen, V., Honkasalo, N., Sarvaranta, A. & Solid D. (2012). Measuring and evaluating the soft energy efficiency measures – final report. Energiateollisuus. [WWW]. Saatavissa (viitattu 20.3.2018): https://energia.fi/files/1225/Pehmeiden_energiatehokkuustoimien_vaiikutusten_mittaus_ja_arviointi.pdf

Sähkömarkkinalaki 588/2013. (2013). [WWW]. Saatavissa (viitattu 1.3.2018): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>

Tilastokeskus. (2018). Asumisen energiankulutus 2016. [WWW]. Saatavissa (viitattu 9.3.2018): https://www.stat.fi/til/asen/2016/asen_2016_2017-11-17_fi.pdf

Topalis, F., Psarras, J., Irrek, W. & Targosz, R. (2008). Strategies for development and diffusion of Energy Efficient Distribution Transformers (SEEDT). National Technical University of Athens.

Tractebel Engineering & Ecofys. (2015). Identifying energy efficiency improvements and saving potential in energy networks, including assessment of the value of demand response, in support of the implementation of article 15 of the energy efficiency directive (2012/27/EU). Brussels, Belgium.

Tuunanen, J., Honkapuro, S. & Partanen, J. (2013). Effects of residential customers' energy efficiency on electricity distribution business. CIRED, Stockholm.

Tuunanen, J. (2009). The effects of heat pumps from the perspective of electricity network business. Master of Science Thesis. Lappeenranta University of Technology.

Verkostosuositus SA 5:94, keskijänniteverkon sähköinen mitoittaminen. (1994). Sener ry, Helsinki.

Wigenborg, G., Werther Öhling, L., Wallnerström, C.J., Grahn, E., Alvehag, L., Ström, L. & Johansson, T. (2016). Incentive Scheme for Efficient Utilization of Electricity Network in Sweden, IEEE, 13th International Conference on the European Energy Market (EEM).

LIITE A: HÄMEENLINNAN RENGASYHTEYDEN RAKENTAMINEN

